



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos

PROYECTO FIN DE CARRERA

SIMULACIÓN DEL CONSUMO DE UNA VIVIENDA Y COBERTURA POR MEDIO DE ENERGÍAS RENOVABLES

Autor: José Antonio Torres Lafuente

Tutor: Dr. Antonio Soria Verdugo

Leganés, Julio de 2014

Agradecimientos

“Todos desean saber, pero pocos pagar el trabajo que vale.”

Sólo las personas más cercanas a mí conocen el trabajo que me ha costado llegar hasta aquí. Este trabajo supone la culminación del mayor reto que he afrontado en mi vida, aquí concluyen años de esfuerzo por lograr el título de Ingeniero Industrial. Afortunadamente, no he estado solo a lo largo de este difícil camino, por eso me gustaría dedicar este trabajo a todas las personas que me han apoyado a lo largo de todos estos años.

En primer lugar, deseo agradecer a mis padres por todo su cariño, apoyo y comprensión desde el primer día que inicié esta aventura, siempre preocupados por el desarrollo de mi carrera y ofreciéndome todas las facilidades para afrontarla de la mejor manera posible. No sólo han disfrutado cada uno de mis aprobados, sino que han sabido ser un pilar básico para mí durante los malos momentos, pues siempre estaban ahí para animarme, aguantarme y consolarme cuando más falta me hacía. También a mi hermana, quién siempre ha tenido la certeza de que conseguiría llegar al final con éxito, siempre demostrando tener más confianza en mí que incluso yo mismo, siempre con buenas palabras tras un mal examen.

En segundo lugar, deseo agradecer a Sandra su enorme paciencia conmigo, un gran apoyo que siempre conseguía sacarme una sonrisa durante los peores momentos de mi carrera, aguantando los momentos de tensión y nerviosismo que esta carrera produce, permaneciendo a mi lado y ayudándome siempre en todo cuánto podía.

También me gustaría acordarme de todos mis amigos, quienes a pesar de abandonarlos en cada período de exámenes siempre han estado ahí para brindarme su humor y animarme cuando más lo he necesitado.

También debo mencionar los grandes amigos de los que me he rodeado en la universidad, siempre apoyándonos y logrando pasar también buenos ratos, logrando que una vez terminada la carrera, la vaya a echar de menos.

Por último quiero agradecer a todos los profesores de la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid por su trato y dedicación todos estos años, y en especial a Antonio por la oportunidad brindada y por la ayuda prestada para finalizar este proyecto.

En definitiva a todos los que me han apoyado para conseguir este objetivo, gracias.

Resumen

El continuo incremento en el consumo de energía por una sociedad cada vez más industrializada ha situado a nuestro planeta en una situación comprometida desde el punto de vista de abastecimiento energético y medioambiental. Esta situación es especialmente crítica en nuestro país, el cual cuenta con una gran dependencia energética exterior, así como un gran consumo de combustibles fósiles y elevadas emisiones de gases de efecto invernadero. Además, aproximadamente una tercera parte de la energía consumida en nuestro país es destinada al sector residencial.

Ante esta situación nace el presente proyecto, con el objetivo de aplicar las nuevas energías renovables al sector residencial, dimensionando tres instalaciones que permitan obtener toda la energía térmica y eléctrica que consume una vivienda unifamiliar actual situada en Madrid a lo largo de todo un año, reduciendo considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera.

Comenzaremos determinando los distintos consumos de energía térmica y eléctrica que presenta la vivienda unifamiliar tanto en el período de invierno como en el de verano. Con estos datos, basándonos en el Código Técnico de la Edificación, se dimensiona una instalación solar térmica compuesta por dos paneles térmicos para la generación del agua caliente sanitaria, logrando una cobertura anual de la demanda del 80 %. En cuanto a la parte de demanda de agua caliente sanitaria no cubierta por la instalación solar térmica, así como para la calefacción de la vivienda, se implementa una solución basada en una caldera de biomasa de 12 kW de potencia, obteniendo un consumo anual de pellets de 4.48 tm. Por último, para la demanda de climatización, se proyecta una instalación de refrigeración por compresión mecánica, cuya energía eléctrica necesaria, así como la consumida por el uso de la vivienda, será suministrada por instalación solar fotovoltaica compuesta por 56 módulos, consiguiendo una potencia pico de 3.920 kW y una energía generada de 6.33 MWh a lo largo del año.

Una vez realizado el dimensionamiento de cada una de las instalaciones procedemos a analizar la viabilidad económica y ambiental de todas ellas. En el caso de la instalación solar fotovoltaica se obtiene un ahorro de 1.52 tm de CO₂ equivalentes cada año que esté funcionando la instalación, y un período de retorno de la inversión de alrededor de 15 años sin tener en cuenta ningún tipo de prima de producción. En cuanto a la instalación solar térmica, esta proporciona un ahorro anual de 406.926 kg de CO₂ equivalentes, y cuenta con un período de retorno de la inversión de 14 años. Por último, la caldera de biomasa proporciona un gran ahorro medioambiental, ya que permite el ahorro de 5.28 tm de CO₂ equivalentes cada año. Sin embargo, no se obtiene un período de retorno de la inversión que haga atractiva económicamente esta instalación a diferencia de las dos anteriores, dado el estado actual de madurez de esta tecnología.

Abstract

The continuous increase in energy consumption by an increasingly industrialized society has placed our planet in a compromised position from the point of view of energy and environmental supply. This situation is particularly critical in our country, which has a large external energy dependency, as well as a great consumption of fossil fuels and elevated greenhouse-gas emissions. Also, approximately one-third of the energy consumed in our country is directed to the residential sector.

That is why this project is born, with the aim of applying new renewable energies to the residential sector, sizing three facilities that allow the capture of all the thermal and electrical energy consumed by a current single family home placed in Madrid throughout a whole year, considerably reducing the emission of greenhouse gases into the atmosphere.

We will begin by identifying the different consumption of thermal and electric energy that presents the single-family home incurs both in the winter and in the summer period. Based on these data, based on the *Código Técnico de la Edificación*, a solar heating installation has been designed which consists of two thermal panels for the generation of the sanitary hot water, with coverage of the annual demand of 80 %. For the sanitary hot water demand not covered by the solar thermal installation, as well as for home heating, a solution based on a biomass boiler of 12 kW is implemented, obtaining an annual consumption of pellets of 4.48 mt. Finally, for the air conditioning demand, a refrigeration installation by mechanical compression is projected, whose required electrical power, as well as the one consumed by the use of the home, will be provided by a solar photovoltaic installation consisting of 56 modules, achieving a power peak of 3.920 kW and a generated energy of 6.33 MWh throughout the year.

Once the sizing of each of the facilities is done, we will proceed to analyze the economic and environmental viability of all of them. In the case of the solar photovoltaic installation a saving of 1.52 mt of CO₂ is obtained, equivalent annually in which the installation is on, and a payback period of around 15 years without taking into account any kind of production premium. As for the solar heating system, this provides an annual saving of 406.926 kg of CO₂ equivalent, and a payback period of 14 years. Finally, the biomass boiler provides a great environmental saving, since it allows the saving of 5.28 mt of CO₂ equivalent annually. However, a payback period that makes this installation attractive economically is not obtained in contrast to the previous two, given the current state of maturity of this technology.

Índice general

1. CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1. Situación energética en España.....	1
1.1.1. Consumo de energía primaria y de energía final en España	2
1.1.2. Intensidad energética.....	3
1.1.3. Grado de autoabastecimiento	4
1.1.4. Emisiones de gases de efecto invernadero	5
1.1.5. Conclusiones	7
1.1.6. Sector de la edificación	7
1.2. Justificación del estudio.....	10
1.3. Objetivos.....	10
2. CAPÍTULO 2: ESTUDIO CONSUMO DEL EDIFICIO	12
2.1. Introducción	12
2.2. Descripción del edificio	12
2.2.1. Localización y descripción del edificio.....	12
2.2.2. Características constructivas	13
2.3. Demanda de climatización.....	15
2.3.1. Carga térmica de calefacción	18
2.3.2. Carga térmica de refrigeración.....	25
2.3.3. Carga térmica anual total	36
2.4. Demanda de agua caliente sanitaria.....	38
2.4.1. Cálculo de la demanda de ACS.....	38
2.4.2. Temperatura del agua de red	39
2.4.3. Consumo de energía para la producción de ACS	39
2.5. Demanda de electricidad.....	41
3. CAPÍTULO 3: DIMENSIONADO DE LAS INSTALACIONES.....	43
3.1. Introducción	43
3.2. Instalación solar térmica para la producción de ACS.....	43
3.2.1. Componentes principales de la instalación solar térmica para ACS.....	43
3.2.2. Dimensionado de la instalación solar térmica para ACS	44
3.3. Instalación térmica para calefactar el edificio	49
3.3.1. Biomasa.....	49
3.3.2. Contenido energético de la biomasa	50
3.3.3. Dimensionado de la instalación térmica para calefacción	51
3.4. Equipo de compresión mecánica para refrigerar el edificio	55
3.4.1. Funcionamiento y componentes de un equipo de compresión mecánica	55
3.4.2. Dimensionamiento del equipo de compresión mecánica	57
3.5. Instalación solar fotovoltaica	61
3.5.1. Funcionamiento y componentes de una instalación solar fotovoltaica.....	61
3.5.2. Módulos fotovoltaicos.....	63
3.5.3. Inversor fotovoltaico	68
3.5.4. Dimensionamiento de la instalación fotovoltaica	70

4. CAPÍTULO 4: ANÁLISIS AMBIENTAL Y ECONÓMICO	73
4.1. Introducción	73
4.2. Análisis ambiental.....	73
4.2.1. Potencial de Efecto Invernadero	73
4.2.2. Instalación solar fotovoltaica	74
4.2.3. Instalación solar térmica para agua caliente sanitaria	75
4.2.4. Caldera de biomasa	77
4.3. Análisis económico.....	80
4.3.1. Introducción	80
4.3.2. Instalación solar fotovoltaica	81
4.3.2.1. Análisis considerando prima de producción fotovoltaica	81
4.3.2.2. Análisis sin considerar prima de producción fotovoltaica	83
4.3.3. Instalación solar térmica para agua caliente sanitaria	84
4.3.4. Caldera de biomasa	86
5. CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES.....	88
5.1. Introducción	88
5.2. Situación energética de España.....	88
5.3. Estudio del consumo del edificio	89
5.3.1. Demanda de climatización	89
5.3.2. Demanda de agua caliente sanitaria	90
5.3.3. Demanda de electricidad	91
5.4. Dimensionado de las instalaciones	92
5.4.1. Instalación solar térmica para la producción de ACS	92
5.4.2. Instalación térmica para calefactar el edificio.....	93
5.4.3. Equipo de compresión mecánica para refrigerar el edificio.....	94
5.4.4. Instalación solar fotovoltaica	95
5.5. Análisis ambiental y económico	96
5.5.1. Análisis ambiental.....	96
5.5.2. Análisis económico	97
5.6. Consecución de los objetivos del proyecto.....	98
5.7. Trabajos futuros	99
6. BIBLIOGRAFIA	100
ANEXOS	102
1. Hojas de características equipos instalados	103
2. Programas MathCAD	114
3. Planos de la vivienda	158

Índice de figuras

Figura 1.1. Evolución del consumo de energía primaria y de energía final (Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. IDAE)	2
Figura 1.2. Evolución del consumo de energía primaria (Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. IDAE)	3
Figura 1.3. Tendencia de las intensidades de energía primaria y final en España y UE (Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. IDAE)	4
Figura 1.4. Evolución de la producción interior de energía y del grado de autoabastecimiento (Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. IDAE).....	5
Figura 1.5. Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. IDAE).....	6
Figura 1.6. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final (Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. IDAE).....	8
Figura 1.7. Distribución del consumo de energía final en el sector doméstico (izquierda) y en el sector servicios (derecha) (Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. IDAE).....	9
Figura 2.1. Área de las diferentes estancias a climatizar	12
Figura 2.2. Dimensiones y orientación de los huecos de las diferentes estancias a climatizar	13
Figura 2.3. Área de muro de cada estancia a climatizar	13
Figura 2.4. Composición del muro exterior	14
Figura 2.5. Composición del suelo	14
Figura 2.6. Composición de la cubierta	14
Figura 2.7. Composición de las ventanas	15
Figura 2.8. Composición de la puerta de acceso	15
Figura 2.9. Condiciones interiores de diseño	16
Figura 2.10. Variación anual de la temperatura exterior	17
Figura 2.11. Variación anual de la humedad relativa del aire exterior.....	17
Figura 2.12. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior	19
Figura 2.13. Coeficiente global de transferencia de calor para cada cerramiento	19
Figura 2.14. Carga térmica de calefacción por transmisión	20
Figura 2.15. Distribución de la carga de transmisión en calefacción	20
Figura 2.16. Caudales de ventilación mínimos exigidos	21
Figura 2.17. Carga térmica de calefacción por ventilación	22
Figura 2.18. Carga térmica de calefacción por infiltraciones.....	23
Figura 2.19. Carga térmica de calefacción por intercambios de aire	24
Figura 2.20. Carga térmica de calefacción total	24
Figura 2.21. Carga térmica de refrigeración por transmisión.....	26
Figura 2.22. Distribución de la carga de transmisión en refrigeración.....	26
Figura 2.23. Carga térmica de refrigeración por ventilación.....	27
Figura 2.24. Carga térmica de refrigeración por infiltraciones	28
Figura 2.25. Carga térmica de refrigeración por intercambios de aire	29

Figura 2.26. Carga térmica interna generada por los equipos eléctricos	30
Figura 2.27. Persianas orientables instaladas en la vivienda	31
Figura 2.28. Declinación solar diaria.....	32
Figura 2.29. Ángulo horario	32
Figura 2.30. Evolución de la altura solar con la hora solar	33
Figura 2.31. Evolución de la altura solar con el día del año.....	33
Figura 2.32. Ángulo a determinar y dimensiones de la persiana.....	34
Figura 2.33. Posición de la persiana en invierno	34
Figura 2.34. Posición de la persiana en verano	35
Figura 2.35. Carga térmica de refrigeración total.....	36
Figura 2.36. Carga térmica total anual	37
Figura 2.37. Demanda de referencia de ACS a 60 °C (Fuente: C.T.E.)	38
Figura 2.38. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado (Fuente: C.T.E.)	38
Figura 2.39. Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C) (Fuente: C.T.E.)	39
Figura 2.40. Variación mensual de la cantidad de energía necesaria para producir ACS.....	40
Figura 2.41. Contribución solar mínima anual para ACS en % (Fuente: C.T.E.).....	41
Figura 2.42. Distribución anual del consumo de electricidad en una vivienda de características similares a la estudiada.....	41
Figura 3.1. Esquema de la instalación solar térmica para producción de ACS	44
Figura 3.2. Curva de rendimiento térmico de los colectores planos.....	45
Figura 3.3. Demanda de energía para la producción de ACS.....	46
Figura 3.4. Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área	46
Figura 3.5. Variación del aporte solar para cada mes del año	48
Figura 3.6. Energía a aportar por cada sistema para cubrir la demanda energética	49
Figura 3.7. Pellets utilizados en calderas domésticas (Fuente: www.larcalor.com)	51
Figura 3.8. Carga térmica de calefacción	52
Figura 3.9. Demanda total de energía para calefacción y ACS.....	53
Figura 3.10. Consumo de energía de la caldera Viessmann Vitoligno 300-P	53
Figura 3.11. Consumo de pellets de la caldera Viessmann Vitoligno 300-P	54
Figura 3.12. Esquema básico de funcionamiento del equipo de compresión mecánica	55
Figura 3.13. Esquema de componentes y funcionamiento del equipo de compresión mecánica.....	56
Figura 3.14. Diagrama P-h del ciclo de compresión mecánica	57
Figura 3.15. Evolución anual del flujo de energía en el evaporador	58
Figura 3.16. Evolución anual del consumo de energía del compresor	59
Figura 3.17. Evolución anual del flujo de energía en el condensador.....	59
Figura 3.18. Evolución de la energía eléctrica total consumida por el equipo de refrigeración.....	61
Figura 3.19. Esquema de una instalación fotovoltaica conectada a la red	62
Figura 3.20. Curva característica de tensión y corriente a distintas temperaturas de la célula.....	63
Figura 3.21. Curva característica de tensión y corriente con distinta irradiación	63
Figura 3.22. Curva teórica de una célula fotovoltaica.....	64
Figura 3.23. Variación del rendimiento con la temperatura de la célula.....	65
Figura 3.24. Variación del rendimiento con la irradiación solar sobre la célula.....	65
Figura 3.25. Evolución anual de la temperatura de las células fotovoltaicas	66

Figura 3.26. Evolución anual del rendimiento de las células fotovoltaicas	67
Figura 3.27. Evolución anual de la energía generada por el módulo fotovoltaico	67
Figura 3.28. Rendimiento del inversor	68
Figura 3.29. Evolución anual de la energía inyectada a la red por cada módulo fotovoltaico	69
Figura 3.30. Evolución diaria de la energía neta generada por cada módulo para varios días	69
Figura 3.31. Distribución mensual de la energía neta producida por cada módulo	70
Figura 3.32. Distribución de la demanda de electricidad a lo largo del año	71
Figura 3.33. Evolución de la energía total generada por la instalación fotovoltaica.....	71
Figura 3.34. Demanda y producción de electricidad a lo largo del año	72
Figura 4.1. Evolución anual de la reducción de emisiones de GEI con la instalación fotovoltaica	74
Figura 4.2. Energía útil obtenida de los paneles solares para cada mes del año	76
Figura 4.3. Energía primaria consumida por la caldera convencional de GN.....	76
Figura 4.4. Potencial de Efecto Invernadero de la instalación convencional	77
Figura 4.5. Energía a producir por la caldera de pellets	78
Figura 4.6. Energía primaria consumida por la caldera de gas convencional	78
Figura 4.7. Evolución anual del Potencial de Efecto Invernadero de la instalación convencional	79
Figura 4.8. Evolución anual del Valor Actual Neto de la instalación solar fotovoltaica considerando prima de producción	82
Figura 4.9. Evolución anual del Valor Actual Neto de la instalación solar fotovoltaica sin considerar prima de producción	83
Figura 4.10. Evolución anual del Valor Actual Neto de la instalación solar térmica para producción de ACS	85
Figura 4.11. Evolución anual del Valor Actual Neto de la instalación de la caldera de biomasa	87
Figura 5.1. Carga térmica total anual	90
Figura 5.2. Evolución anual de la energía demandada para la producción de ACS.....	91
Figura 5.3. Distribución anual del consumo de energía eléctrica.....	92
Figura 5.4. Variación del aporte solar para cada mes del año	93
Figura 5.5. Energía a aportar por cada sistema para cubrir la demanda energética de ACS	93
Figura 5.6. Evolución anual del consumo de pellets de la caldera de biomasa.....	94
Figura 5.7. Evolución de la energía eléctrica total consumida por el equipo de refrigeración	95
Figura 5.8. Demanda y producción de energía eléctrica a lo largo del año.....	96
Figura 5.9. Inversión inicial y ahorro anual de cada una de las instalaciones proyectadas	98

1.- INTRODUCCIÓN

Actualmente, la energía es fundamental para nuestras vidas y para el funcionamiento de nuestra sociedad. El sector energético ha sufrido grandes cambios en las últimas décadas debido a incrementos en la demanda, los constantes incrementos en el precio del petróleo así como incertidumbres en su suministro desde algunas regiones del mundo, y los temores relacionados con el efecto invernadero y el cambio climático, provocados por las emisiones de gases contaminantes de las energías convencionales.

Es por estos motivos por los cuales los países más industrializados están dedicando grandes esfuerzos a responder a las nuevas necesidades de la sociedad, que reclama cada vez con mayor fuerza, el uso de energías limpias y viviendas de mayor eficiencia energética. Por ello es necesario un viraje que haga sostenible el actual sistema energético, que sea seguro, respetuoso con el medio ambiente y sostenible.

Para lograr estos objetivos, se han desarrollado multitud de estudios y acuerdos internacionales, entre los que destaca el Protocolo de Kyoto como medida para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera a nivel mundial.

En este sentido, las energías renovables se presentan como una excelente alternativa, ya que se trata de una fuente cuya producción es sostenible indefinidamente sin agotamiento y sin degradación del medio natural (no producen lluvia ácida ni contribuyen al efecto invernadero y no dejan residuos importantes). Además generan más puestos de trabajo que otras fuentes de energía y disminuye la dependencia energética del exterior del país. Sin embargo, presentan una baja disponibilidad, al estar sometida a variaciones naturales, y tienen un elevado coste derivado de la amortización de equipos y, en menor medida, de los costes de mantenimiento.

Además, algunos estudios concluyen que el potencial de las energías renovables en España es amplísimo y muy superior a la demanda energética nacional y a los recursos energéticos de origen fósil existentes. Por tanto, las energías renovables son el principal activo energético de nuestro país.

Dentro de las energías renovables, cabe destacar la energía solar, sector que ha experimentado una mejora continua y ha alcanzado una gran madurez, por lo que resulta una alternativa rentable frente las fuentes convencionales. Además, la proliferación de instalaciones ha provocado la disminución paulatina en los precios de todos los componentes y una mayor fiabilidad de la tecnología. La utilización de esta fuente de energía empieza a ser bastante común en las viviendas debido a la actual obligación de instalar paneles solares térmicos en las viviendas de nueva construcción y resulta perfectamente viable para realizar instalaciones privadas para el autoabastecimiento de energía.

1.1.- SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

Para comprender el panorama energético actual en que se encuentra nuestro país, necesitamos analizar la situación energética en el pasado, estudiar los planes que se están desarrollando en el presente y los objetivos propuestos para el futuro. Utilizaremos cuatro indicadores para medir la situación actual de la eficiencia energética española:

- Consumo de energía primaria y de energía final.
- Intensidad energética.
- Grado de autoabastecimiento.
- Emisiones de gases de efecto invernadero.

Por último analizaremos en particular el sector de la edificación, ya que este proyecto se centrará en mejorar la eficiencia energética de este sector.

1.1.1.- CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA Y DE ENERGÍA FINAL EN ESPAÑA

Comenzaremos analizando la evolución histórica del consumo de energía primaria y de energía final.

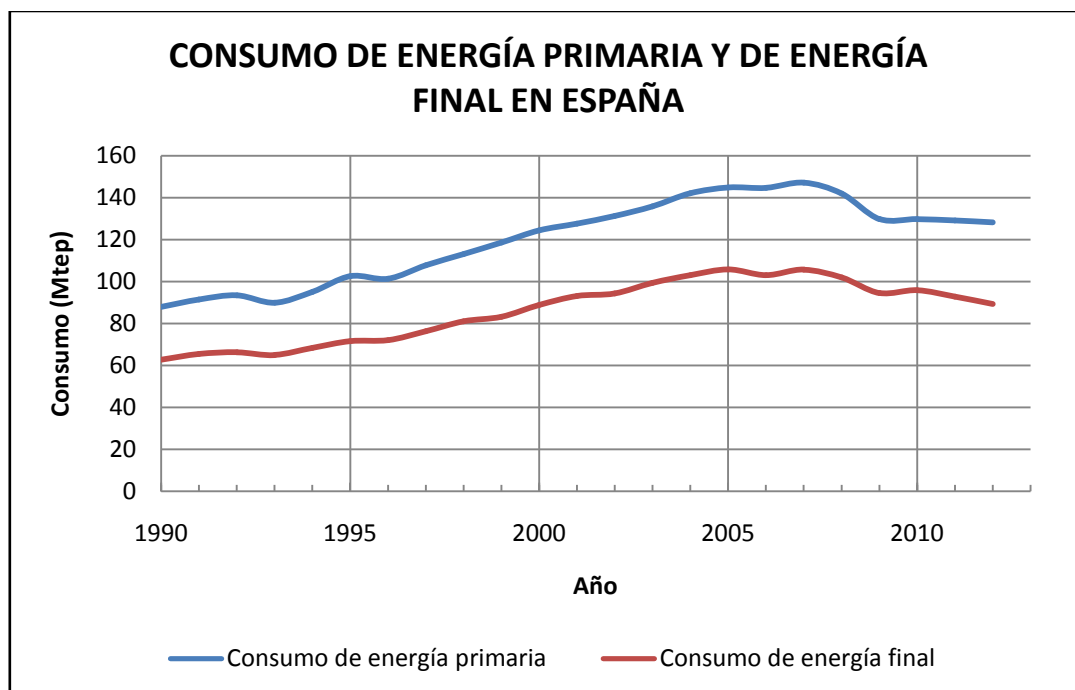


Figura 1.1. Evolución del consumo de energía primaria y de energía final.

Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

Como se puede observar en la figura anterior, históricamente el consumo de energía primaria ha seguido una tendencia al alza, hasta el año 2004 que constituye un punto de inflexión, momento a partir del cual se produce una tendencia a la baja, debido principalmente a la trayectoria seguida por el carbón y el petróleo, que como vemos en las figuras siguientes, han reflejado una contracción continuada desde entonces, a diferencia de la evolución seguida por el gas natural y las energías renovables, que tienen incrementos progresivos de demanda. Además, el impacto de la actual crisis económico – financiera y las medidas de eficiencia implementadas han provocado la caída de la demanda energética asociada a todas las fuentes energéticas, salvo las renovables.

En términos de energía final, observamos una tendencia análoga a la energía primaria, manifestando de igual modo una tendencia a la estabilización y contracción en la demanda a partir del año 2004, así como el efecto de la actual crisis.

En la figura 1.2 se muestra la evolución del consumo de energía primaria repartido en las diferentes formas de energía.

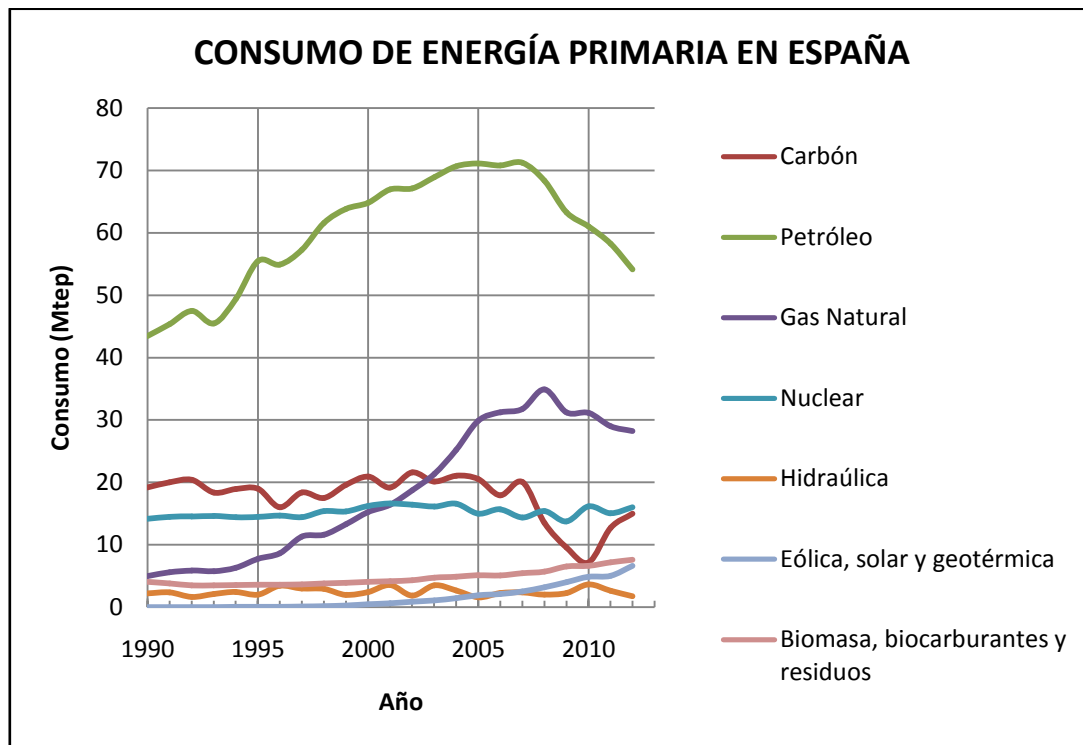


Figura 1.2. Evolución del consumo de energía primaria.

Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

En la figura anterior vemos como a partir de la segunda mitad de los años 90, fuentes energéticas como las energías renovables y el gas natural han entrado con fuerza en escena, ganando terreno frente al carbón y el petróleo, lo que ha incidido en una mayor diversificación del abastecimiento energético.

1.1.2.- INTENSIDAD ENERGÉTICA

La intensidad energética es una relación entre el consumo energético per cápita y el Producto Interior Bruto per cápita, es decir, puede definirse como el consumo de energía necesario para generar una unidad de PIB.

Todos los países muestran una curva similar con forma de colina. Inicialmente la intensidad energética sube, mientras se desarrolla el país, para alcanzar un máximo y descender permanentemente, después del cambio de modo, es decir, una vez desarrollado el país.

El análisis de la evolución de la intensidad energética de la energía primaria en España permite constatar el efecto de las distintas crisis, tras las cuales se observa una mejora en este indicador. Sin embargo estas mejoras no duran mucho, volviendo a registrar un

empeoramiento tras la recuperación económica. Esta situación de empeoramiento de la intensidad energética continuó durante la década de los 90, y hasta principios de este siglo, continuando por encima de la tendencia media observada en el conjunto de la UE.

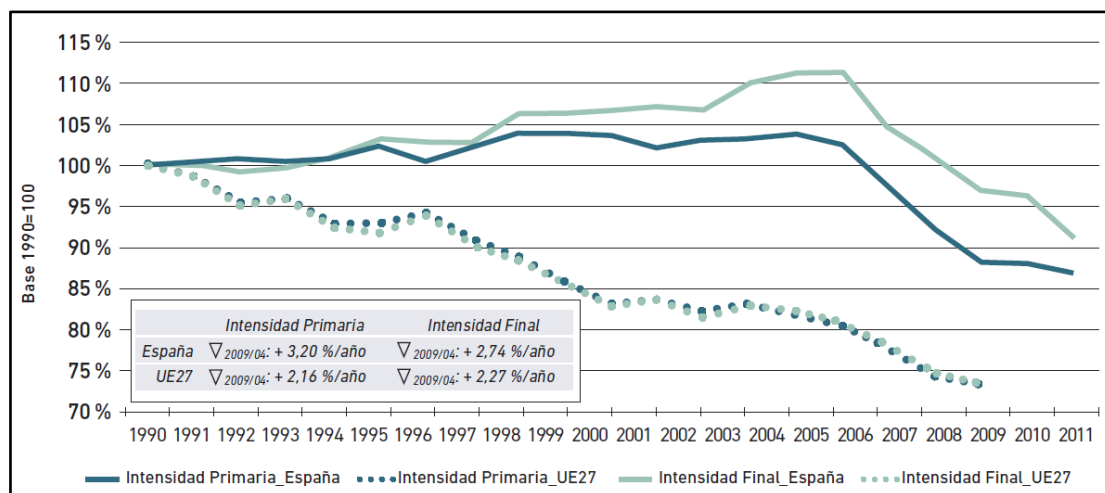


Figura 1.3. Tendencia de las intensidades de energía primaria y final en España y UE.

Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

Como podemos observar, esta tendencia se rompe en el año 2004, ya que durante el período 2004-2009 estos indicadores evolucionan a un ritmo superior al de los indicadores correspondientes a la media europea. Esto es debido a cambios estructurales ocurridos en nuestra economía, mejoras asociadas a la eficiencia energética y a la producción con energías renovables.

1.1.3.- GRADO DE AUTOABASTECIMIENTO

Como ya hemos visto, España se caracteriza por presentar una estructura de consumo dominada por la presencia de productos petrolíferos, importados en su mayoría del exterior. Esto, sumado a una reducida aportación de recursos autóctonos, ha contribuido a una elevada dependencia energética, alrededor del 80 %, muy superior a la media europea (55 %), que se traduce en un reducido grado de autoabastecimiento.

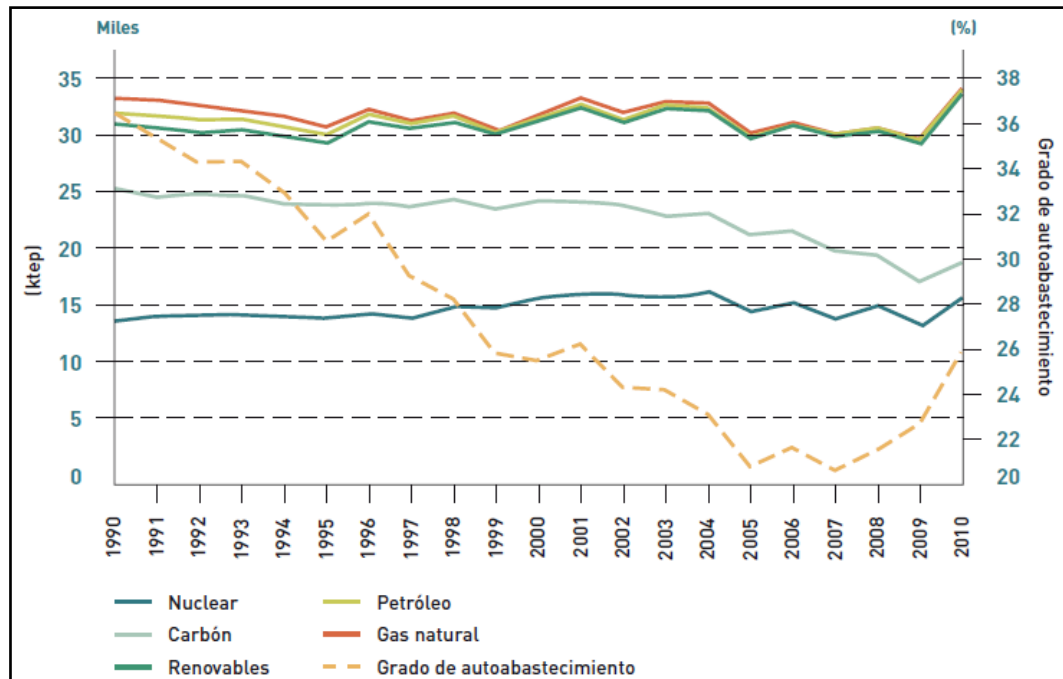


Figura 1.4. Evolución de la producción interior de energía y del grado de autoabastecimiento.

Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

A partir del año 2005 se produce una mayor penetración de energías renovables en la cobertura de la demanda interior, y por tanto un aumento en el grado de autoabastecimiento, logrando en 2010 recuperar la situación existente en 1999.

Si bien es un hecho que la dependencia energética nacional aún sigue siendo considerable, es incuestionable el efecto positivo de las mejoras en las áreas de eficiencia energética y de renovables en el grado de autoabastecimiento, ya que hacen posible una mayor cobertura de la demanda energética nacional con recursos autóctonos.

1.1.4.- EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático es un acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero causantes del calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), hidrofluorocarbonados (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6). En el período que va desde el año 2008 al 2012 se fijó un objetivo de reducción de al menos un 5 % en promedio tomando como referencia los niveles de 1990.

El protocolo fue inicialmente adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kyoto, pero no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005. En noviembre de 2009, eran 187 países los que ratificaron este tratado, sin embargo, Estados Unidos, mayor emisor de gases de efecto invernadero mundial, no ha ratificado el protocolo.

La Unión Europea, muy activa en la concreción del protocolo, se comprometió a reducir sus emisiones totales medias durante el período 2008-2012 un 8 % respecto de las de 1990. Sin embargo, a cada país se le otorgó un margen distinto en función de diferentes aspectos

económicos y medioambientales. En el caso de incumplimiento de los compromisos acordados por uno de los países de la Unión Europea, esta contempla dos tipos de sanciones:

- Sanciones contempladas en el Protocolo: reducción de un 30 % del exceso de emisiones en la asignación del siguiente período.
- Sanciones económicas: se sanciona a las empresas con 40 €/tCO₂ en el período 2005-2007 y 100 €/tCO₂ en el período 2008-2012.

Por su parte, España se comprometió a aumentar sus emisiones un máximo del 15 % en relación al año base. En la siguiente figura podemos ver la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en nuestro país.

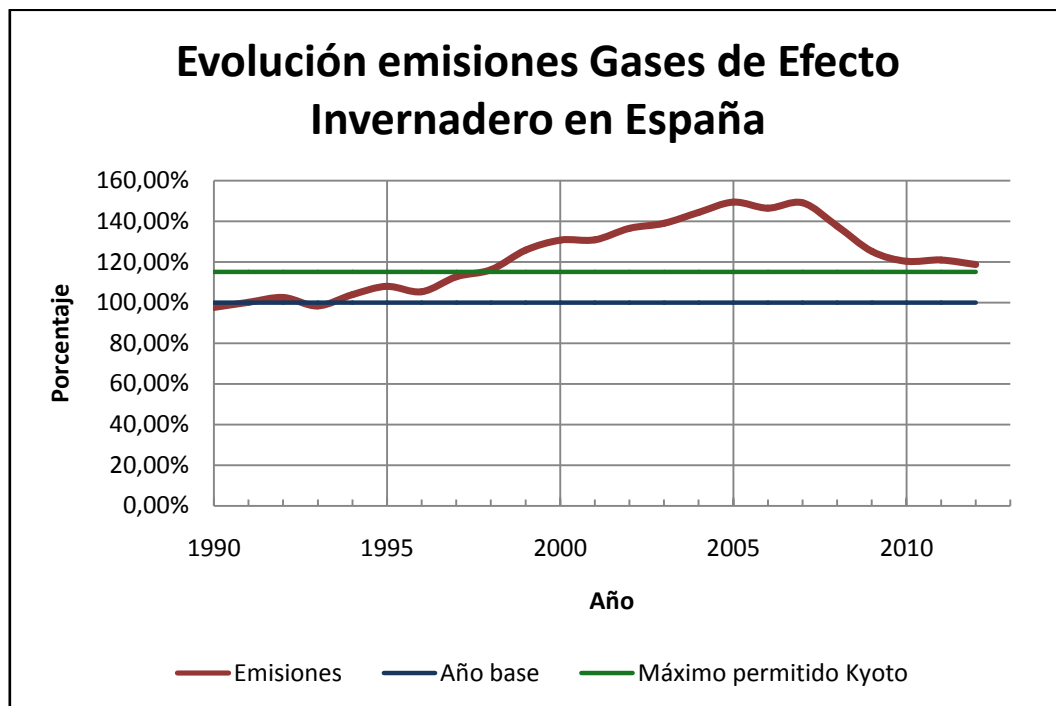


Figura 1.5. Evolución de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en España.

Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

Como podemos observar, en los últimos años se ha producido un descenso en las emisiones de gases de efecto invernadero, el cuál puede deberse en gran medida a la crisis económica, que ha ocasionado, como hemos visto anteriormente, un descenso en el consumo de energía así como una moderación en el consumo de electricidad y uso del vehículo privado.

La primera fase del Protocolo de Kioto finalizaba en el año 2012, evaluándose el cumplimiento de los países con respecto a los objetivos acordados. En el caso de España, en el período 2008-2012, emitió una media anual de 360,925 Mt de CO₂ – eq, lo que representa un 24,5 % de incremento, superando así el 15 % asignado. Este excedente en las emisiones fue adquirido por dos vías: la mejora en la gestión de los sumideros forestales, con un máximo de 2 puntos; y la compra de derechos de emisiones en el exterior haciendo uso de los mecanismos de flexibilidad.

A pesar del descenso de las emisiones de GEI en 2012, España sigue siendo uno de los países industrializados donde más han aumentado las emisiones respecto a 1990.

Finalizado el primer período del Protocolo, se decidió, en la Cumbre de Doha del 26 de noviembre de 2012, dar continuidad al marco jurídico del Protocolo de Kyoto y adoptar las medidas necesarias para hacer posible un segundo período de compromiso a partir del 1 de enero de 2013. Sin embargo, los países que han suscrito este nuevo acuerdo apenas generan el 15 % del total de emisiones contaminantes mundiales.

La Unión Europea se comprometió en Doha a una reducción de emisiones de un 20 % en 2020 respecto a los niveles de 1990, que podría aumentarse hasta el 30 % si las condiciones son adecuadas.

1.1.5.- CONCLUSIONES

A partir del análisis realizado a los cuatro parámetros anteriores podemos concluir que los principales retos que caracterizan el sector energético español pueden sintetizarse en los siguientes:

- Un consumo energético por unidad de producto interior bruto elevado. Es decir, para producir una misma unidad de producto interior bruto, España consume más energía que la media de los países europeos.
- Elevada dependencia energética. La escasa presencia de yacimientos de energía primaria fósil ha ocasionado un elevado grado de dependencia energética en España. Esto además introduce riesgos adicionales sobre los procesos productivos, como pueden ser la garantía del suministro energético o la volatilidad de los precios de los mercados internacionales.
- Elevadas emisiones de gases de efecto invernadero. Ocasionadas principalmente por el fuerte crecimiento de la generación eléctrica y de la demanda de transporte durante las últimas décadas. Este problema puede convertirse en un problema económico en el caso de no reducir las emisiones, ya que tendremos que afrontar las sanciones derivadas del incumplimiento de los objetivos fijados en el Protocolo de Kyoto.

1.1.6.- SECTOR DE LA EDIFICACIÓN

En la siguiente figura podemos ver la evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final en nuestro país.

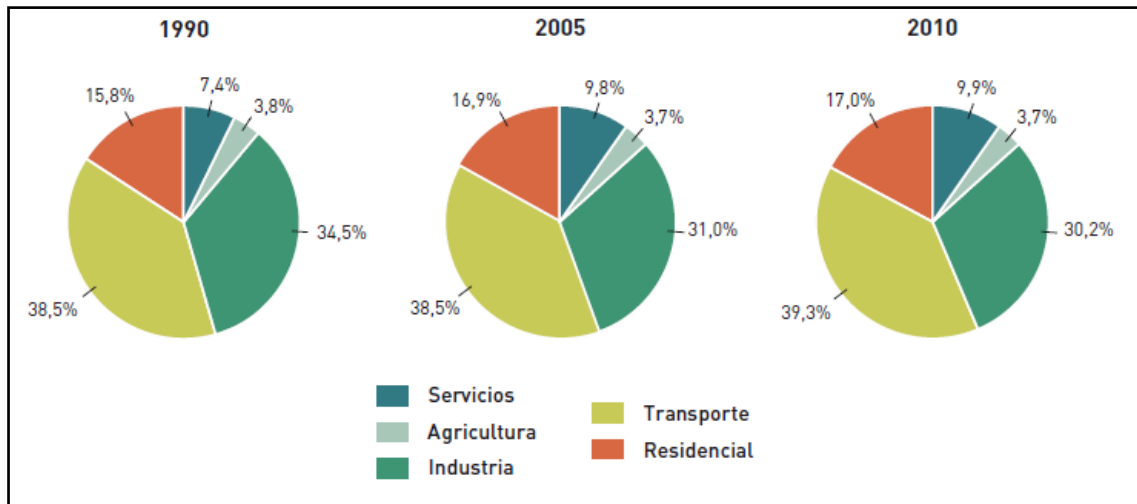


Figura 1.6. Evolución de la estructura sectorial de la demanda de energía final.

Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

Se observa una distribución prácticamente uniforme entre los sectores industrial, transporte y residencial, distribución típica en los países desarrollados. El sector del transporte es el mayor consumidor, basado principalmente en productos petrolíferos, causante en gran parte de la elevada dependencia energética nacional. Le sigue el sector industrial y el creciente protagonismo de los sectores residencial y servicios.

Analizaremos ahora en concreto el sector de la edificación, ya que las instalaciones que llevaremos a cabo en este proyecto serán aplicables en este sector.

El consumo de energía final en el sector de la edificación representó en el año 2010 el 26,1 % del consumo de energía final nacional para usos energéticos. De este consumo, el 17,5 % corresponde al sector de edificios de uso doméstico, y el 8,6 % al sector de edificios destinados a servicios.

En la siguiente figura tenemos la distribución del consumo de energía en el sector doméstico y en el sector servicios.

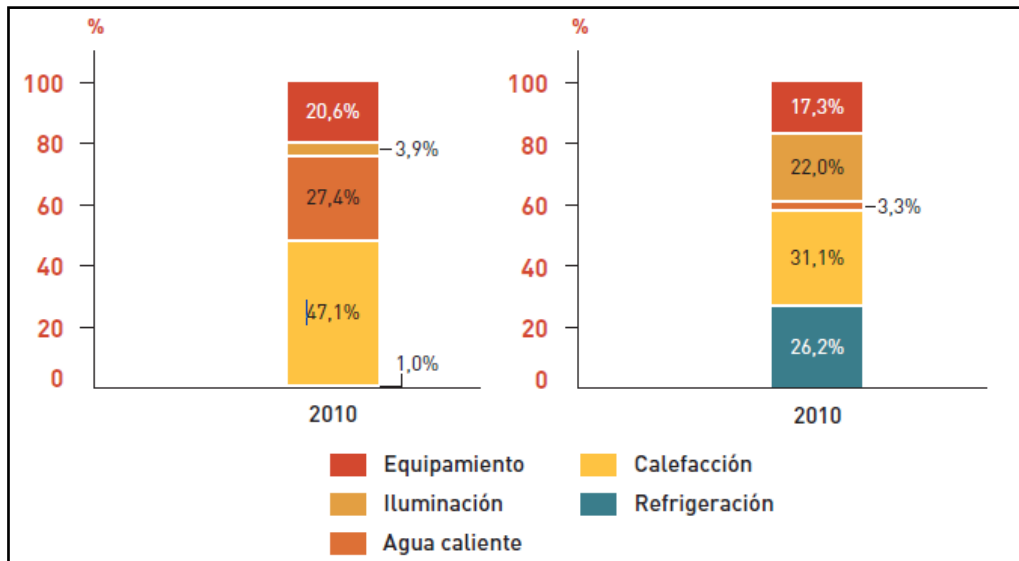


Figura 1.7. Distribución del consumo de energía final en el sector doméstico (izquierda) y en el sector servicios (derecha).

Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía.

En el sector doméstico hay que destacar que las instalaciones térmicas de la vivienda (calefacción y ACS) representan casi tres cuartas partes del consumo energético del sector. El aire acondicionado no representa un consumo importante aunque contribuye a generar picos de demanda eléctrica en los períodos de verano en que se alcanzan temperaturas exteriores más altas. Por el contrario, en el sector servicios la distribución es diferente, observándose valores más altos para iluminación y refrigeración, a la vez que disminuye considerablemente el ACS respecto al sector doméstico.

Un pilar básico para mejorar la eficiencia energética de los edificios consiste en la incorporación de las energías renovables, ya que junto a la mejora de las envolventes puede llevarnos a una máxima eficiencia, menor consumo y reducción de emisiones, incluso en aquellos edificios existentes que durante muchos años se han construido sin ningún criterio de sostenibilidad. También conseguiríamos reducir la dependencia energética de nuestro país ya que disponemos de la tecnología necesaria para funcionar con energías limpias. Algunas de las energías renovables que actualmente cuentan con una posible integración en el sector de la edificación son las siguientes:

- Energía solar térmica: tiene como aplicación principal la producción de agua caliente sanitaria, calentamiento de agua en piscinas, calefacción a baja temperatura con suelo radiante, y también para refrigeración mediante uso de equipos de absorción.
- Energía solar fotovoltaica: tiene como aplicación principal la generación de energía eléctrica a partir de la energía del sol empleando para ello unos paneles con elementos semiconductores, normalmente células de silicio.
- Energía de la biomasa: utiliza como materia prima los pellets, los restos de la poda, huesos de oliva, las cáscaras de almendras, (generalmente residuos de actividades agrícolas y forestales o subproductos de la transformación de la madera) para generar energía térmica para agua caliente sanitaria y calefacción. En el caso de viviendas unifamiliares o edificios de viviendas, se consigue obtener un elevado ahorro

energético y gran eficiencia con la implantación de calderas de biomasa, para generar calor para agua caliente sanitaria y calefacción.

- Energía eólica: España es uno de los mayores países a la cabeza como mayores productores de energía eólica en todo el mundo, y por lo tanto puede aplicarse también a edificios y viviendas como sistemas de producción de energía eléctrica, siempre y cuando las condiciones sean favorables.

1.2.- JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

El sector de los edificios (residenciales o comerciales) es el mayor consumidor de energía y el mayor emisor de CO₂ de la Unión Europea. Esto convierte a los edificios en un campo estratégico de actuación, estableciendo estrategias de mejora de la eficiencia energética y de fomento de las energías renovables.

El empleo de la energía solar puede ayudar a mejorar algunos de los tres problemas con los que cuenta el sector energético nacional, analizados en el apartado anterior. La energía solar no va a hacer que disminuya el consumo energético, pero si contribuye en gran medida a disminuir la elevada dependencia energética del exterior, mejorar nuestra seguridad de suministro y a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, ya que España cuenta con la tecnología necesaria para realizar instalaciones solares sin dependencia exterior, y además estas instalaciones no cuentan con emisiones de gases de efecto invernadero.

El actual Código Técnico de la Edificación obliga, además de una aportación solar para agua caliente sanitaria, a una contribución renovable mínima para usos térmicos en los edificios de nueva construcción o que se rehabiliten, de forma que una parte de sus necesidades previstas de calefacción, agua caliente sanitaria o climatización se cubra mediante energías renovables.

Por lo tanto, el estudio de la instalación solar en una vivienda que vamos a llevar a cabo está plenamente justificado, por la contribución a la mejora de la situación energética del país, por contar con la tecnología necesaria para la implantación de estas instalaciones en los edificios, y además por la obligatoriedad de contar con colectores solares térmicos en los edificios de nueva construcción o rehabilitados.

1.3.- OBJETIVOS

El objetivo fundamental de este proyecto es el análisis y dimensionado de sistemas de generación de energía que puedan ser instalados en una vivienda unifamiliar situada en Madrid, para cubrir la demanda de energía del edificio y que contribuyan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Se proyectaran tres instalaciones de generación de energía libre de emisiones de GEI que actualmente resultan de fácil integración en viviendas unifamiliares: una instalación solar térmica para agua caliente sanitaria, una instalación solar fotovoltaica para cubrir la demanda de electricidad y refrigeración mediante un equipo de compresión mecánica, y una caldera de biomasa para cubrir la demanda de calefacción.

La normativa en la que nos basaremos es el Código Técnico de Edificación (CTE), dentro del cual se encuentra el documento básico de Ahorro de Energía, así como el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (RITE).

Para lograr el objetivo propuesto, dividiremos este proyecto en los siguientes apartados.

1. Estudio consumo del edificio. El objetivo principal de este apartado será determinar la demanda de energía térmica y eléctrica del edificio durante los períodos de verano e invierno.
2. Dimensionado de las instalaciones. En base a la demanda obtenida en el apartado anterior, el objetivo de este capítulo será el dimensionar las instalaciones correspondientes para cubrir dicha demanda.
3. Análisis ambiental y económico. Analizaremos las instalaciones propuestas desde el punto de vista de reducción de emisiones de GEI y desde el punto de vista de rentabilidad económica.

Una vez determinados los tres puntos anteriores, estaremos en condiciones de realizar una valoración conjunta de cada tipo de instalación propuesta.

2.- ESTUDIO CONSUMO DEL EDIFICIO

2.1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo del estudio que vamos a realizar es proporcionar una cobertura de las necesidades energéticas de un edificio, el cuál describiremos posteriormente. Lo primero que debemos determinar con la mayor exactitud posible es la demanda de energía, ya que constituye un parámetro crítico en el correcto funcionamiento de la instalación.

Este estudio detallado de la demanda energética lo dividiremos en tres partes: demanda de climatización, demanda de agua caliente sanitaria y demanda de electricidad. Además, en el análisis de la climatización, distinguiremos entre el período de calefacción y el de refrigeración. Calcularemos las distintas cargas térmicas en cada uno de los periodos para obtener finalmente la energía necesaria y la potencia máxima.

2.2.- DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

2.2.1.- LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El edificio objeto de estudio se trata de una vivienda unifamiliar situada en la ciudad de Madrid. La vivienda tiene 163,1632 m² dispuestos en una única planta. La distribución y orientación la podemos ver en el plano situado en el anexo.

En total, se dispone de las siguientes estancias a climatizar:

Local	Área
Salón	42 m ²
Baño 1	8,2944 m ²
Cocina	15,52 m ²
Dormitorio 1	14,64 m ²
Dormitorio 2	14,0544 m ²
Dormitorio 3	19,4 m ²
Baño 2	9,2944 m ²
Vestíbulo	25,56 m ²

Figura 2.1. Área de las diferentes estancias a climatizar.

Además dispone de un garaje de 14,4 m² dispuesto en la fachada este, que consideraremos una estancia no climatizable.

Para el posterior cálculo de las cargas térmicas del edificio, necesitamos conocer antes el área de las diferentes puertas y ventanas de cada estancia, y con estas obtener el área de muro correspondiente. En la siguiente figura se presentan las dimensiones de las ventanas y puertas de cada estancia, así como su orientación.

Local	Ventana	Puerta
Salón	---	2,5x2 m - Norte
Baño 1	0,5x0,7 m - Sur	---
Cocina	1,5x1,1 m - Norte	---
Dormitorio 1	1,5x1,3 m - Sur	---
Dormitorio 2	1,5x1,3 m - Sur	---
Dormitorio 3	1,5x1,3 m - Norte	---
Baño 2	0,5x0,7 m - Sur	---
Vestíbulo	---	0,9x2 m - Este

Figura 2.2. Dimensiones y orientación de los huecos de las diferentes estancias a climatizar.

Sabiendo que la altura del edificio es de 2,8 m y conocidas las dimensiones de los huecos, podemos obtener el área de los muros, distinguiendo entre el muro en contacto con el exterior y el muro en contacto con las superficies no climatizables (garaje).

Local	Área muro
Salón	Exterior: 23,728 m ²
Baño 1	Exterior: 7,322 m ² Garaje: 8,064 m ²
Cocina	Exterior: 22,934 m ²
Dormitorio 1	Exterior: 12,778 m ²
Dormitorio 2	Exterior: 13,842 m ²
Dormitorio 3	Exterior: 19,578 m ²
Baño 2	Exterior: 18,242 m ²
Vestíbulo	Exterior: 5,144 m ² Garaje: 5,6 m ²

Figura 2.3. Área de muro de cada estancia a climatizar.

2.2.2.- CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

En este apartado definiremos la composición exacta de cada uno de los cerramientos del edificio:

- Muro exterior (fachada):

Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
Exterior	---	---
Mortero de cemento para enlucido	0,015	1,3
Ladrillo hueco	0,09	0,52
EPS Poliestireno Expandido	0,05	0,033
Ladrillo hueco	0,09	0,52
Enlucido de yeso	0,015	0,3
Interior	---	---

Figura 2.4. Composición del muro exterior.

- Suelo:

Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
Terreno	---	---
Arena y grava	0,2	0,15
Hormigón armado	0,35	2,3
XPS Expandido con dióxido de carbono	0,02	0,034
Polietileno alta densidad (HDPE)	0,001	0,5
Madera Frondosa de peso medio	0,02	0,18
Interior	---	---

Figura 2.5. Composición del suelo.

- Cubierta:

Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
Exterior	---	---
Hormigón con áridos	0,05	1,16
Bovedilla de hormigón	0,25	1,39
EPS Poliestireno expandido	0,08	0,033
Enlucido de yeso	0,02	0,3
Interior	---	---

Figura 2.6. Composición de la cubierta.

- Ventanas:

Las ventanas de la vivienda están compuestas por un vidrio doble con cámara de aire entre medias:

Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
Exterior	---	---
Vidrio	0,006	0,55
Cámara de aire	0,012	0,027
Vidrio	0,006	0,55
Interior	---	---

Figura 2.7. Composición de las ventanas.

- Puerta de acceso:

La puerta de acceso a la vivienda está compuesta por dos láminas de madera de diferente grosor y una lámina de acero.

Composición	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
Exterior	---	---
Madera 1	0,01	0,064
Lámina de acero	0,02	58
Madera 2	0,015	0,064
Interior	---	---

Figura 2.8. Composición de la puerta de acceso.

Conocida la localización del edificio, orientación y características de los diferentes cerramientos, podemos comenzar el estudio de los diferentes consumos del edificio.

2.3.- DEMANDA DE CLIMATIZACIÓN

Para el cálculo de la demanda térmica de climatización de un edificio debemos determinar la carga térmica del mismo. La carga térmica del edificio será la potencia que requiera la instalación para mantener unas condiciones térmicas dadas en su interior. Las cargas térmicas se suelen dividir en sensibles, correspondientes a variaciones de temperatura seca del aire, y latentes, correspondientes a variaciones de cantidad de vapor de agua del aire.

La carga térmica presenta 4 componentes:

- 1) Carga térmica de transmisión: se trata de una carga sensible originada por la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del edificio, es decir, es una carga transmitida al edificio a través de los diferentes cerramientos por conducción.

- 2) Carga térmica de intercambios de aire: esta se divide a su vez en carga de ventilación y carga de infiltraciones, teniendo cada una componente sensible y otra latente. La carga de ventilación es debida a la renovación del aire interior, mientras que la de infiltraciones es debida a la no estanquidad del edificio (puertas y ventanas).
- 3) Carga térmica interna: es debida al uso del edificio, es decir, tiene en cuenta el aporte de calor que proporcionan los ocupantes, tanto de forma sensible como latente, y la iluminación y equipos eléctricos del edificio, únicamente de forma sensible. Esta carga constituirá una ganancia térmica, por lo que sirve como apoyo al sistema calefactor, por lo que únicamente consideraremos esta carga en el caso de la carga de refrigeración.
- 4) Carga térmica de radiación: se trata de una carga sensible originada por la incidencia de la radiación solar sobre las superficies internas del edificio. Al igual que en el caso de la carga interna, esta carga solo ha de ser tomada en cuenta en el caso de la carga de refrigeración.

Una vez conocidas las distintas componentes de la carga térmica, debemos determinar un período para la carga de calefacción y otro para la de refrigeración. Asignamos un período de calefacción comprendido entre el 1 de Octubre y el 30 de Abril, por lo que el período de refrigeración será aplicable entre el día 1 de Mayo y el 30 de Septiembre.

Además, para calcular la carga térmica del edificio se precisan unas condiciones de diseño:

- Condiciones interiores de diseño:

Las condiciones internas vienen especificadas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado en el Real Decreto 1027 de 2007, en el cuál se fijan dichas condiciones tanto para verano como para invierno y cuyos valores se muestran en la siguiente tabla:

Estación	Temperatura operativa (°C)	Humedad relativa (%)
Verano	23 a 25	45 a 60
Invierno	21 a 23	40 a 50

Figura 2.9. Condiciones interiores de diseño.

De acuerdo con la tabla anterior seleccionaremos una humedad relativa de diseño de 40 % para invierno y de 45 % para verano. En el caso de la temperatura fijaremos una temperatura interior de diseño de 21 °C para invierno y 25 °C para verano.

- Condiciones exteriores de diseño:

Las condiciones exteriores de diseño vienen determinadas por la localización del edificio. Hemos obtenido los datos de la temperatura y de la humedad relativa para cada hora del año en el municipio de Madrid. En las siguientes gráficas tenemos la variación de la temperatura y de la humedad relativa a lo largo del año.

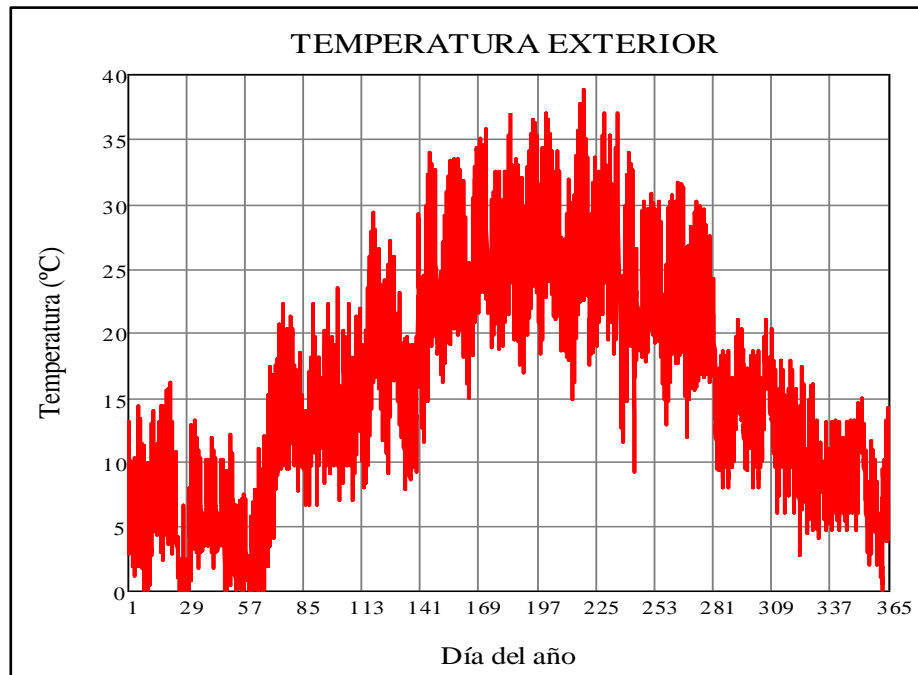


Figura 2.10. Variación anual de la temperatura exterior.

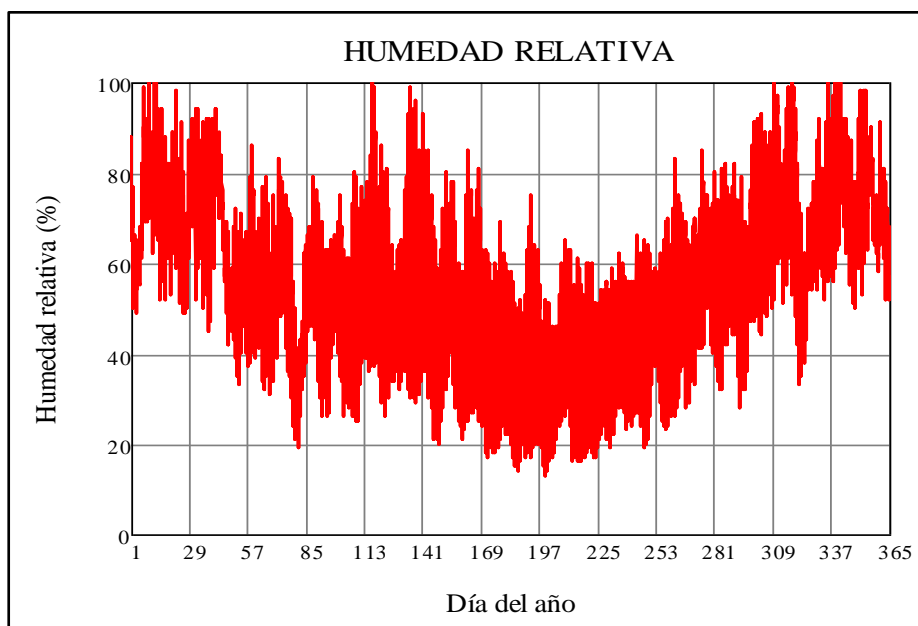


Figura 2.11. Variación anual de la humedad relativa del aire exterior.

En la gráfica de la evolución anual de la temperatura exterior se observa que la temperatura no baja nunca de 0 °C, esto es debido a un error durante el proceso de la toma de datos, ya que no quedaba registrado cuando la temperatura caía por debajo de dicho valor, de modo que se anotó 0 °C en todos aquellos puntos en los que se registró este error.

En cuanto a la evolución anual de la humedad relativa, se observa que sus valores están en torno al 50 %, humedad relativa característica del clima de Madrid, siendo lógicamente más alta en el período de invierno que en el de verano.

2.3.1.- CARGA TÉRMICA DE CALEFACCIÓN

Calcularemos las distintas componentes con que cuenta la carga térmica de calefacción:

- **Carga térmica de transmisión:**

Como se trata de una transferencia de calor unidimensional a través de los diferentes cerramientos, la carga térmica de transmisión puede calcularse por medio de la siguiente expresión:

$$Q_{trans} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde:

Q: carga por transmisión de ese cerramiento (W).

A: área del cerramiento (m²).

U: coeficiente global de transferencia de calor (W/m²K).

ΔT: diferencia de temperaturas (K).

La diferencia de temperaturas que utilizaremos para los cerramientos que se encuentren en contacto con el aire exterior será la que exista entre la temperatura interior de diseño y la temperatura exterior. Para el caso de los cerramientos que estén en contacto con el garaje (espacio no calefactable), la diferencia de temperaturas que emplearemos será la que exista entre la temperatura interior de diseño y la media entre este valor y la temperatura exterior. En cuanto al cálculo de la transmisión de energía a través del suelo, necesitamos conocer la temperatura del terreno, tomaremos una temperatura media del terreno de 10 °C tanto para el período de invierno como para el de verano.

Por otro lado, para el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor U, usaremos la siguiente expresión:

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{si}}$$

Donde:

R_{se}, R_{si}: resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior. Estas resistencias vienen especificadas en el documento HE del Código Técnico de la Edificación, y se muestran en la tabla siguiente.

e_i: espesor de la capa (m).

λ_i: conductividad térmica de la capa (W/mK).

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R_{se} (m^2K/W)	R_{si} (m^2K/W)
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $> 60^\circ$ y flujo horizontal.	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo horizontal.	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente.	0,04	0,17

Figura 2.12. Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior.

Con los datos anteriores y la composición de los cerramientos expuesta en el apartado anterior, obtenemos los siguientes coeficientes globales de transferencia de calor. Además debemos comprobar que los coeficientes obtenidos están por debajo del límite fijado por el Código Técnico de la Edificación.

Cerramiento	U (W/m^2K)	U_{lim} (W/m^2K)
Suelo	0,424	0,49
Muro	0,478	0,66
Cubierta	0,35	0,38
Ventanas	1,572	---
Puerta de acceso	1,783	---

Figura 2.13. Coeficiente global de transferencia de calor para cada cerramiento.

Por tanto, una vez conocida la diferencia de temperaturas, la superficie de cada cerramiento, y el coeficiente global de transferencia de calor de los mismos, podemos calcular la carga térmica de transmisión del edificio.

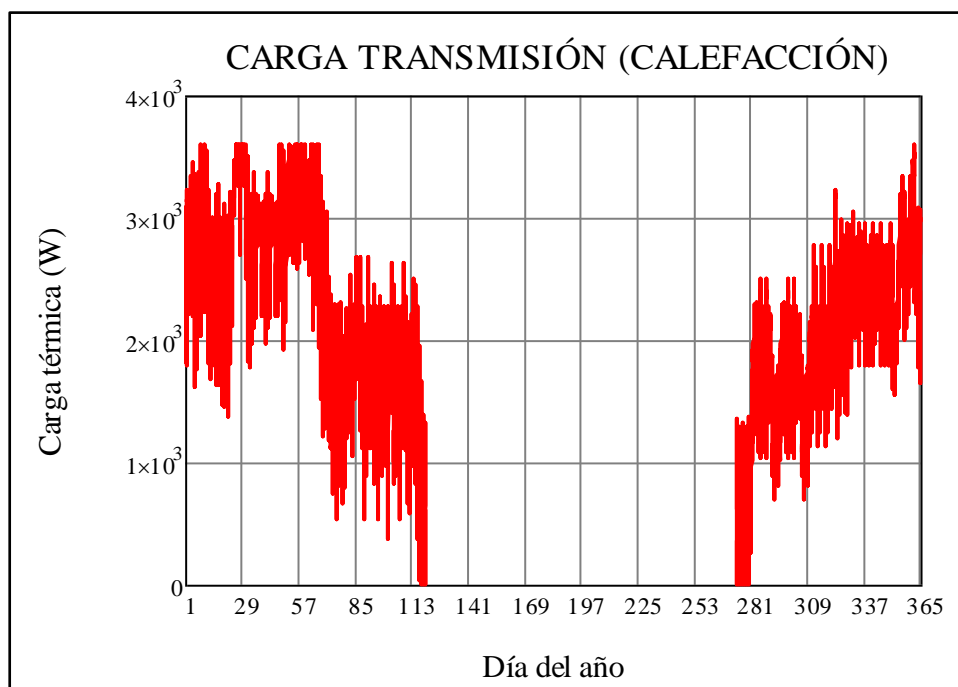


Figura 2.14. Carga térmica de calefacción por transmisión.

En el gráfico podemos ver como la carga de calefacción por transmisión va disminuyendo conforme nos vamos acercando a los meses de verano, es decir, conforme va reduciéndose el salto térmico entre el interior y el exterior del edificio. Además puede apreciarse como en los días más cercanos al período de verano la carga térmica cae por debajo de cero, por lo que podría no ser necesaria la calefacción.

Por otro lado, resulta interesante conocer qué porcentaje de la carga térmica de transmisión es debida a cada uno de los cerramientos. De esta forma podremos saber que cerramiento es más susceptible de introducir mejoras, con el objetivo de reducir el consumo energético en el periodo de calefacción. Así, considerando la energía que se pierde a lo largo de todo el período de calefacción por cada uno de los cerramientos, obtenemos los siguientes resultados.

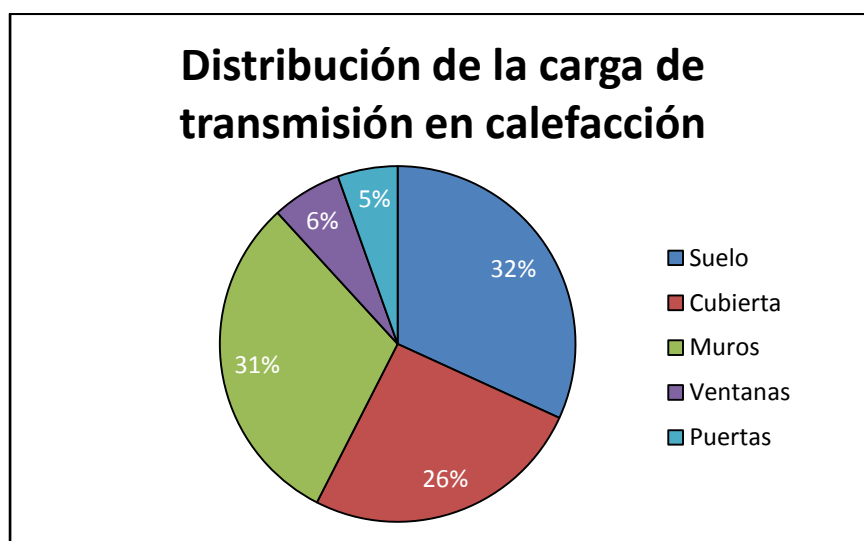


Figura 2.15. Distribución de la carga de transmisión en calefacción.

Como vemos en el gráfico anterior, las pérdidas más importantes de energía se dan a través del suelo, cubierta y muros, lo que demuestra la importancia de disponer un buen aislante en estos cerramientos, así como el importante ahorro que implica mejorar el aislamiento de dichos cerramientos. Sin embargo, el bajo porcentaje de energía perdido a través de puertas y ventanas no implica que no requieran buenos aislamientos, ya que hay que tener en cuenta que estos resultados se deben a la pequeña superficie de ambos cerramientos, de hecho una buena medida para mejorar la eficiencia energética en edificios radica en sustituir estos cerramientos, por su menor coste y mayor facilidad de actuación que en los anteriores.

- **Carga térmica de intercambios de aire:**

Como ya hemos dicho anteriormente, la carga térmica de intercambios de aire puede dividirse en la carga por ventilación y la carga por infiltraciones, compuesta a su vez cada una de ellas de una componente sensible y otra latente.

- **Carga térmica de ventilación:**

Para calcular la componente sensible de la carga de ventilación utilizaremos la siguiente expresión:

$$Q_{vent_sen} = V_{vent} \cdot \rho_{aire} \cdot C_{p_{aire}} \cdot (T_{int} - T_a)$$

Donde:

Q_{vent_sen} : carga por ventilación sensible (W).

V_{vent} : caudal de ventilación total (m³/s).

ρ_{aire} : densidad del aire (kg/m³). Tomaremos $\rho_{aire} = 1,2$ kg/m³.

$C_{p_{aire}}$: calor específico del aire a temperatura ambiente (J/kgK).

Tomaremos $C_{p_{aire}} = 1000$ J/kgK.

T_{int} : temperatura del local a climatizar (K).

T_a : temperatura atmosférica (K).

El caudal de ventilación total viene determinado por el Código Técnico de la Edificación en el Documento Básico HS, en el apartado de calidad del aire interior:

Locales	Caudal de ventilación mínimo exigido en l/s		
	Por ocupante	Por m ² útil	En función de otros parámetros
Dormitorios	5		
Salas de estar y comedores	3		
Aseos y cuartos de baño			15 por local
Cocinas		2	50 por local
Trasteros y sus zonas comunes		0,7	
Aparcamientos y garajes			120 por plaza
Almacenes de residuos		10	

Figura 2.16. Caudales de ventilación mínimos exigidos

Por otro lado, la componente latente de la carga térmica de ventilación la calcularemos utilizando la siguiente expresión:

$$Q_{vent_lat} = V_{vent} \cdot \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_{int} - \omega_a)$$

Donde:

Q_{vent_lat} : carga por ventilación latente (W).

V_{vent} : caudal de ventilación total (m³/s).

ρ_{aire} : densidad del aire (kg/m³). Tomaremos $\rho_{aire} = 1,2$ kg/m³.

h_{fg} : calor de vaporización del agua. Tomaremos $h_{fg} = 2557$ kJ/kg.

ω_{int} : humedad interior del edificio.

ω_a : humedad exterior del edificio.

Los valores de la humedad interior y exterior los calcularemos haciendo uso de un diagrama psicrométrico introduciendo la humedad relativa absoluta y la temperatura. El caudal de ventilación total corresponde al mostrado anteriormente.

Por tanto, una vez halladas las dos componentes podemos calcular la carga térmica de ventilación, que será la suma las mismas. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

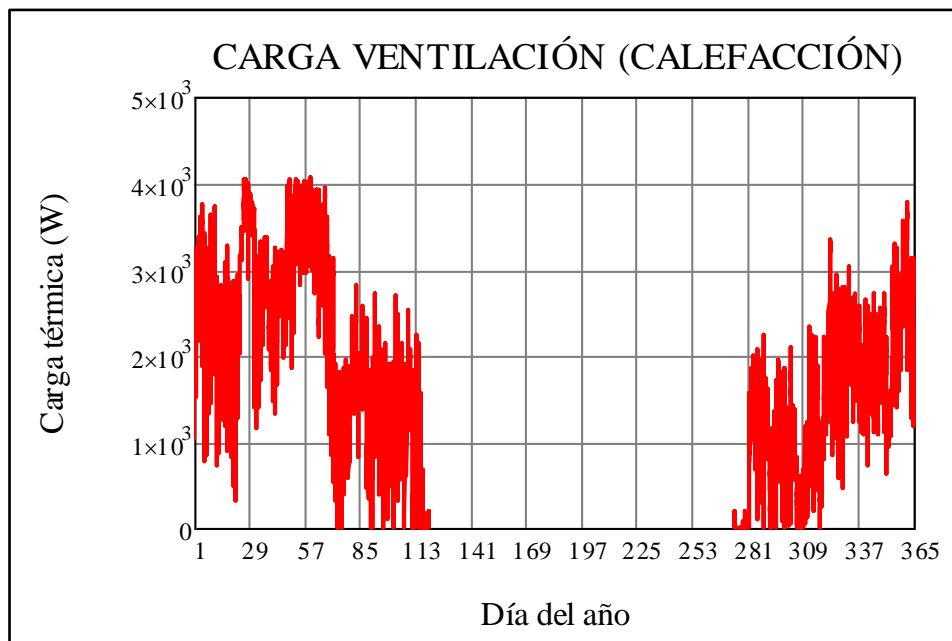


Figura 2.17. Carga térmica de calefacción por ventilación.

En el gráfico anterior vemos como la carga de ventilación resulta ligeramente inferior a la de transmisión calculada anteriormente, pero siguiendo la misma tendencia al disminuir según nos acercamos a los meses más cálidos.

- Carga térmica de infiltraciones:

Se trata de una carga instantánea que aporta al edificio tanto calor sensible como calor latente. El cálculo de la carga térmica de infiltraciones es muy similar a la de la carga térmica de ventilación. Las expresiones que utilizaremos para su obtención son las siguientes.

$$Q_{inf_sen} = V_{inf} \cdot \rho_{aire} \cdot C_{p_{aire}} \cdot (T_{int} - T_a)$$

$$Q_{inf_lat} = V_{inf} \cdot \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_{int} - \omega_a)$$

Sin embargo, ahora el caudal de infiltraciones (V_{inf}) resulta más complejo de obtener, de forma que debemos recurrir a dos estimaciones proporcionadas por el Manual de Aire Acondicionado de Carrier:

- Ventanas: $1,8 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2\text{vent}$
- Puertas: $2,5 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2\text{vent}$

De esta forma, conocidas las superficies de ventanas y puertas de nuestro edificio, podemos estimar el caudal de infiltraciones, y con éste obtener la carga térmica de infiltraciones. Los resultados obtenidos pueden verse en el siguiente gráfico.

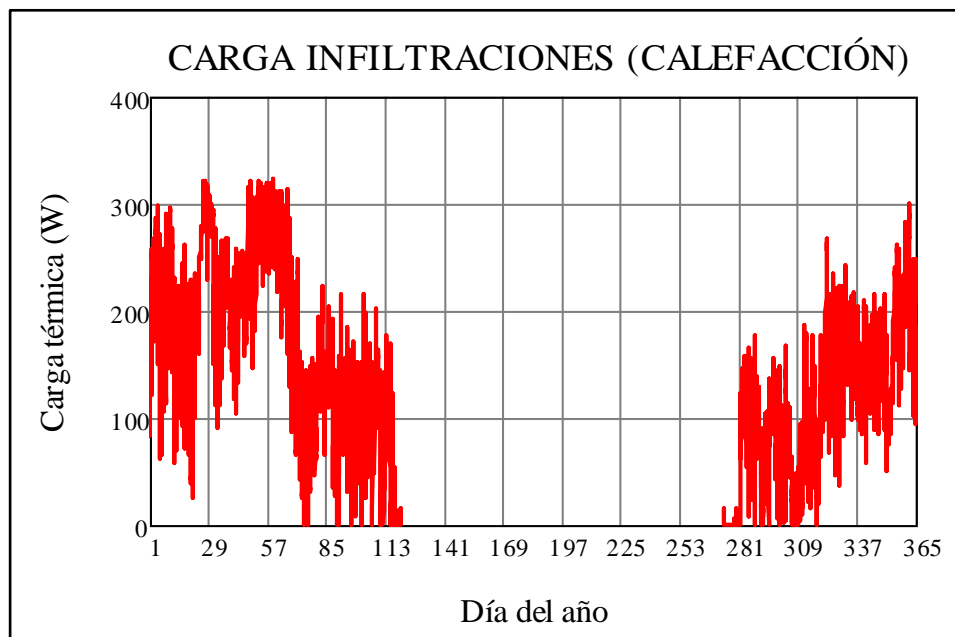


Figura 2.18. Carga térmica de calefacción por infiltraciones.

En el gráfico anterior observamos que la carga térmica por infiltraciones resulta muy inferior a la carga térmica por transmisión, ya que se sitúa alrededor del 10 % de dicha carga.

Por tanto, conocidas ya las cargas térmicas de ventilación y de infiltraciones, podemos obtener la carga térmica de intercambios de aire exterior sumando ambas, y cuyo resultado se muestra en el siguiente gráfico.

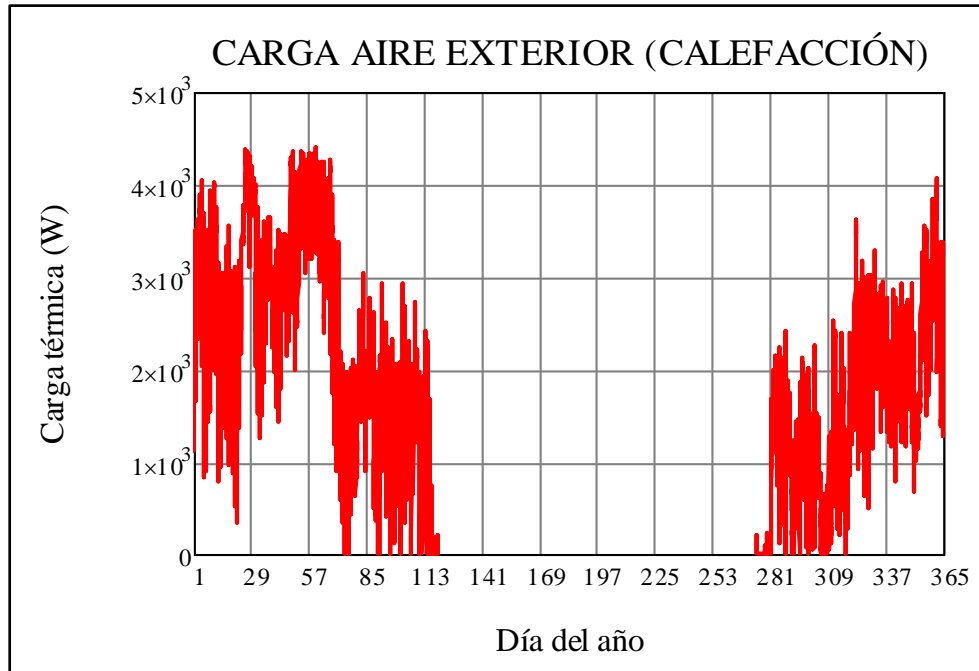


Figura 2.19. Carga térmica de calefacción por intercambios de aire.

La carga térmica de calefacción por intercambios de aire resulta aproximadamente del mismo orden que la carga de transmisión, por lo que contribuirá de forma importante a la carga total de calefacción.

Finalmente, la carga total de calefacción se obtiene de la suma de la carga térmica de transmisión y de la de aire exterior. Su evolución anual puede observarse en el siguiente gráfico.

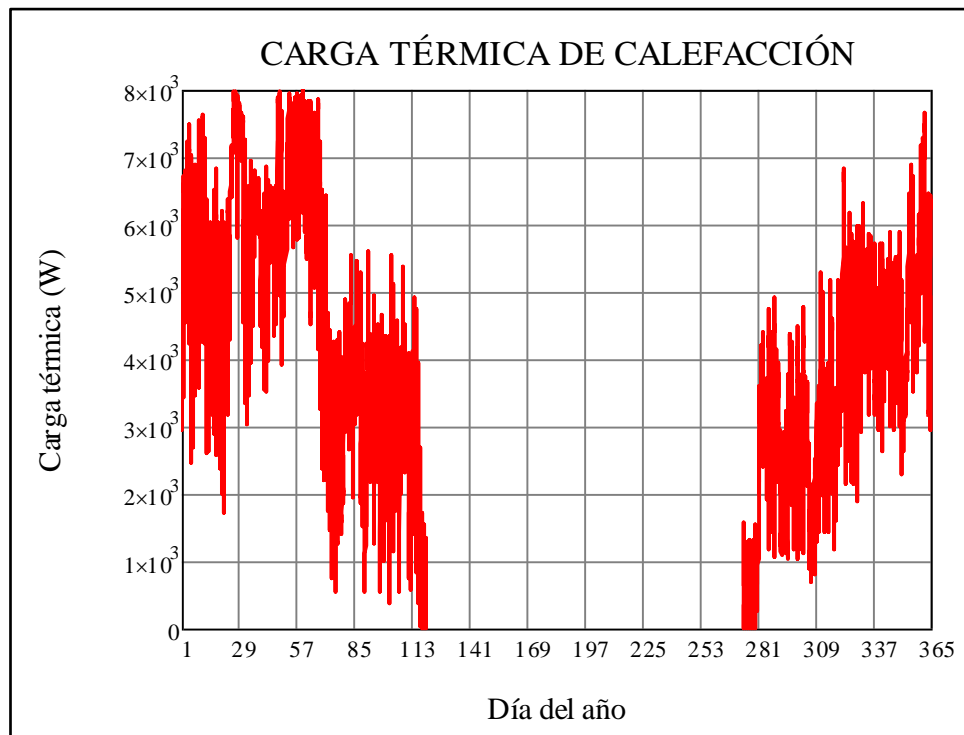


Figura 2.20. Carga térmica de calefacción total.

En el gráfico anterior se observa que la carga térmica total de calefacción alcanza un máximo de 7,996 kW, por lo que el equipo de calefacción que vaya a hacer frente a esta carga térmica tendrá que tener una potencia superior a esta.

2.3.2.- CARGA TÉRMICA DE REFRIGERACIÓN

El cálculo de la carga térmica en el período de refrigeración resulta análogo al del período de calefacción. Al igual que hicimos en el caso de la calefacción, dividiremos el cálculo de la carga térmica de refrigeración en sus diferentes componentes.

- **Carga térmica de transmisión:**

Al igual que para el período de calefacción, calcularemos la carga térmica de transmisión por medio de la siguiente expresión:

$$Q_{trans} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Sin embargo, la diferencia de temperaturas que utilizaremos ahora para los cerramientos en contacto con el aire exterior será la existente entre la temperatura exterior y la interior de diseño. De igual forma, para los cerramientos en contacto con el garaje, la diferencia de temperaturas será la que exista entre la media entre la temperatura exterior y la interior de diseño, y la interior de diseño.

A diferencia con el período de calefacción en el que había que tener en cuenta la transmisión de calor a través del suelo por estar éste a una temperatura inferior a la interior de diseño, en el caso de refrigeración no consideraremos el flujo térmico a través del suelo ya que contribuirá a la refrigeración del edificio, es decir, constituirá una ganancia.

Por otro lado, en cuanto al cálculo del coeficiente global de transferencia de calor U , las únicas variaciones serán la resistencia térmica superficial interna de la cubierta, cuyo valor pasará a ser 0,17 m²K/W, y el intercambio de las resistencias superficiales interior y exterior en los muros, ya que el flujo de la energía será en sentido contrario.

Por tanto, la evolución temporal de la carga térmica de refrigeración por transmisión se muestra en el siguiente gráfico.

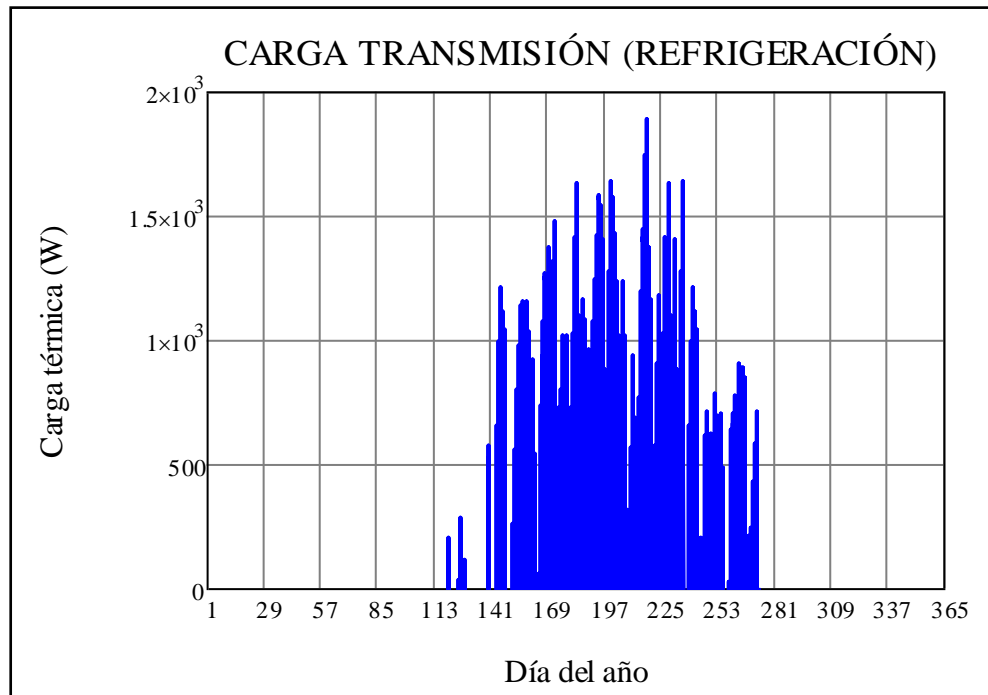


Figura 2.21. Carga térmica de refrigeración por transmisión.

En el gráfico anterior se observa como la carga de transmisión es mayor en los días centrales del verano, que suelen ser los más calurosos y donde resulta más necesaria la refrigeración. Hay que destacar que los valores obtenidos para la carga de transmisión en verano resultan inferiores a los obtenidos en invierno debido fundamentalmente a que el salto térmico entre la temperatura interior de diseño y el exterior es inferior que en invierno. Además se observa como en los primeros y últimos días de verano la carga cae por debajo de cero, por lo que podría no ser necesaria la refrigeración.

Al igual que hicimos con el período de calefacción, resulta interesante conocer qué porcentaje de esta carga térmica de transmisión es debida a cada uno de los cerramientos. La distribución de esta carga de transmisión para el período de refrigeración es la siguiente.

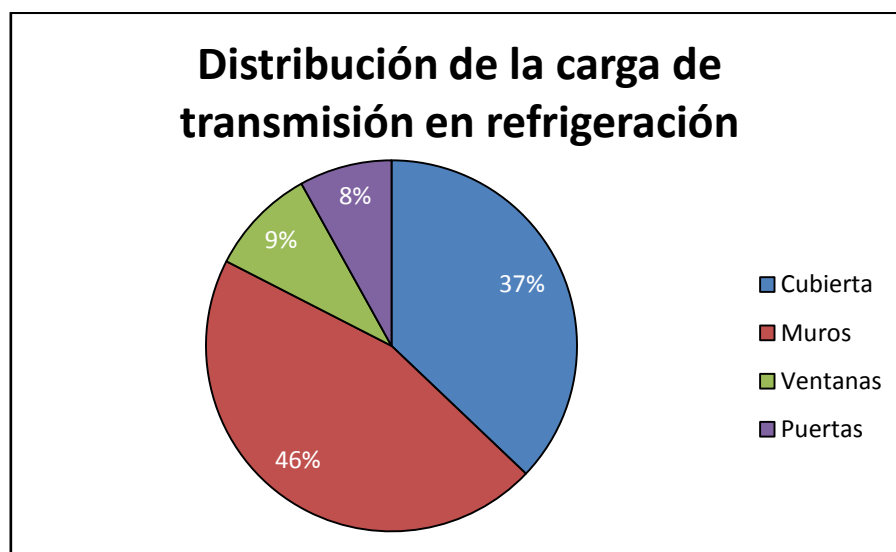


Figura 2.22. Distribución de la carga de transmisión en refrigeración.

De nuevo, las contribuciones más importantes a la carga de transmisión son la cubierta y los muros, debido en gran medida a su mayor superficie.

- **Carga térmica de intercambios de aire:**

Al igual que hicimos para el período de calefacción, para calcular la carga térmica de aire exterior, la dividiremos en la carga por ventilación y la carga por infiltraciones, y a su vez cada una de estas en su componente sensible y latente.

- **Carga térmica de ventilación:**

Obtenemos las componentes sensible y latente de la carga térmica de ventilación mediante las siguientes expresiones:

$$Q_{vent_sen} = V_{vent} \cdot \rho_{aire} \cdot C_{p_{aire}} \cdot (T_a - T_{int})$$

$$Q_{vent_lat} = V_{vent} \cdot \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_a - \omega_{int})$$

Los caudales de ventilación son los mismos que los empleados en el caso de la calefacción. Las únicas diferencias son el cambio en la temperatura y humedad interior de diseño de verano y sus correspondientes signos.

Por tanto, sumando ambas componentes, obtenemos la carga térmica de ventilación que se muestra a continuación.

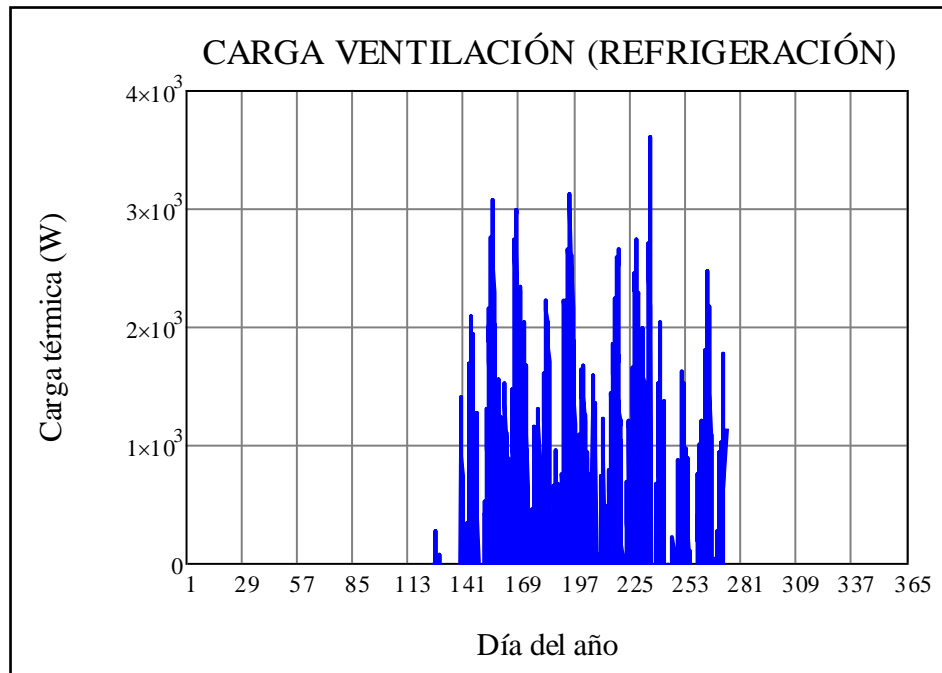


Figura 2.23. Carga térmica de refrigeración por ventilación.

En el gráfico anterior vemos como la carga de ventilación resulta ser del mismo orden que la carga de transmisión, aunque con mas valores negativos debido fundamentalmente a que la humedad relativa en este período de refrigeración se sitúa por debajo del 40 %, correspondiente a la humedad relativa interior de diseño fijada.

- Carga térmica de infiltraciones:

Las componentes sensible y latente de la carga de infiltraciones las obtenemos a través de las siguientes expresiones:

$$Q_{inf_sen} = V_{inf} \cdot \rho_{aire} \cdot C_{p_{aire}} \cdot (T_a - T_{int})$$

$$Q_{inf_lat} = V_{inf} \cdot \rho_{aire} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_a - \omega_{int})$$

Al igual que en el caso anterior de la carga de ventilación, las únicas variaciones respecto al período de calefacción serán el cambio de la temperatura y humedad interior de diseño de verano y sus correspondientes signos.

A continuación se muestran los resultados obtenidos para la carga térmica de infiltraciones.

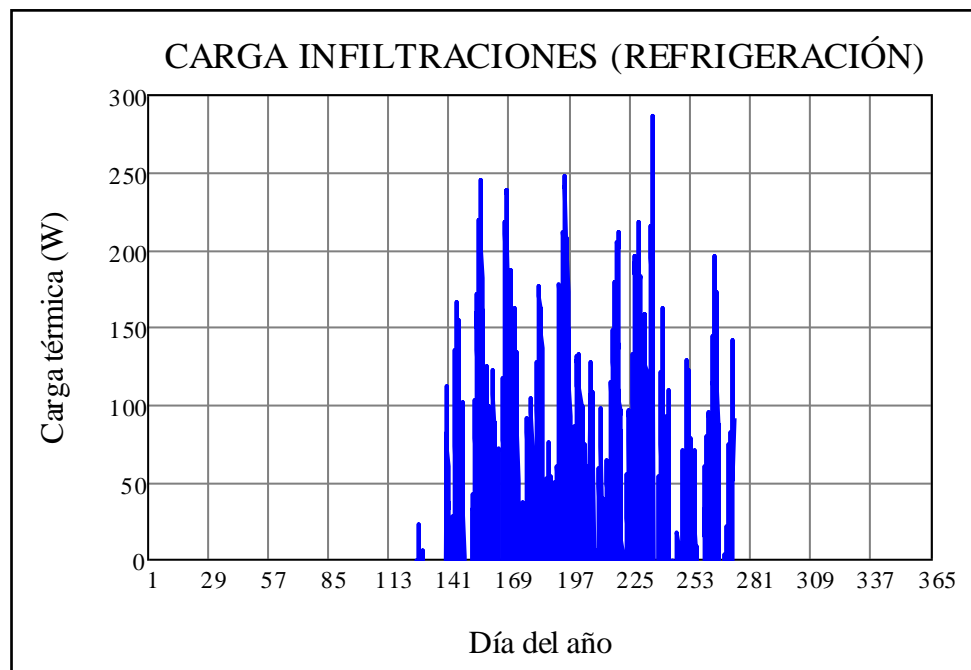


Figura 2.24. Carga térmica de refrigeración por infiltraciones.

Al igual que ocurría en el período de calefacción, la carga térmica de infiltraciones resulta ser inferior a la de ventilación. Además, al igual que la carga de ventilación, presenta también muchos valores negativos.

Por tanto, una vez que conocemos las cargas térmicas de ventilación y de infiltraciones, no tenemos más que sumarlas para obtener la carga térmica de intercambios de aire exterior. El resultado se muestra en el siguiente gráfico.

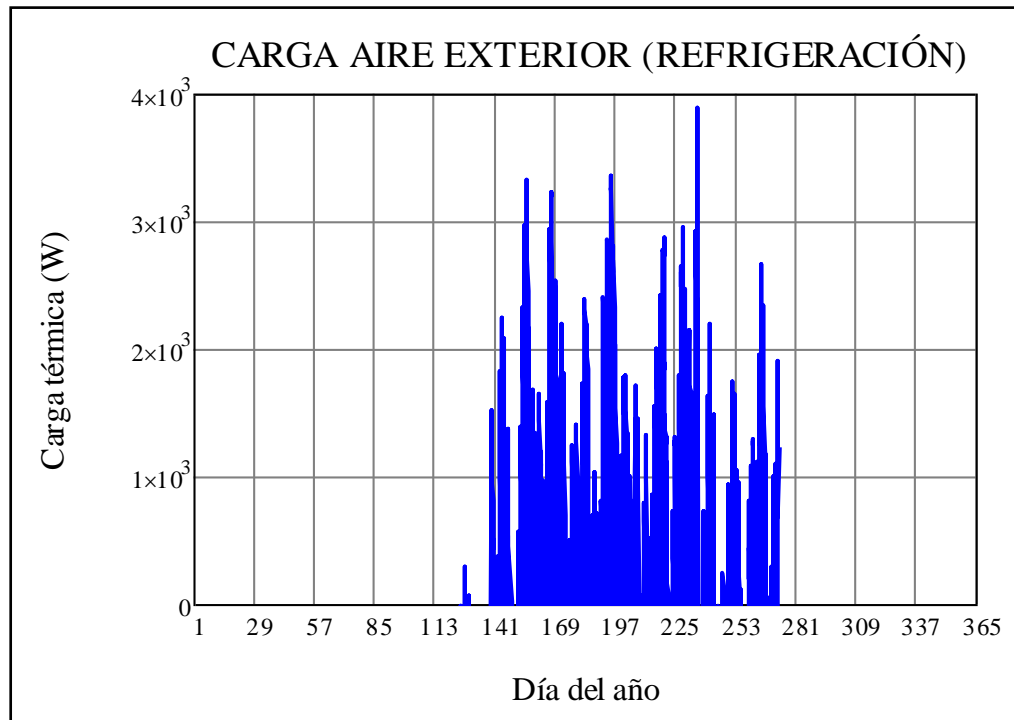


Figura 2.25. Carga térmica de refrigeración por intercambios de aire.

Como cabría esperar, la carga de aire exterior presenta valores fundamentalmente negativos, tal y como ocurría con sus dos componentes.

- **Carga térmica interna:**

La carga interna es debida a la emisión de calor de personas, iluminación y equipos eléctricos. Al igual que las cargas de aire exterior, la carga interna tendrá también dos componentes, una sensible y otra latente. Vamos a analizar cada carga interna por separado según su origen.

- **Cargas debidas a los ocupantes:**

Las personas emiten energía en forma de calor en función de la actividad que desarrollen, tanto de forma sensible como latente, y por lo tanto afecta a la carga térmica del edificio. Unos valores típicos para una persona en reposo son:

$$Q_{oc_sen} = 70 \frac{W}{pers} \quad Q_{oc_lat} = 60 \frac{W}{pers}$$

Además debemos considerar también un factor de ocupación de la vivienda ya que la vivienda no estará siempre plenamente ocupada. Sin embargo, utilizaremos un factor de ocupación de uno para simular las condiciones más desfavorables. Como la vivienda estará ocupada por cuatro personas obtenemos una carga debida a la ocupación:

$$Q_{oc} = \left(70 \frac{W}{pers} + 60 \frac{W}{pers} \right) \cdot 4 \text{ pers} \cdot 1 = 520 \text{ W}$$

- Cargas debidas a la iluminación:

La iluminación de la vivienda también debe ser contabilizada como carga interna ya que esta potencia de iluminación se degradará posteriormente en energía térmica. Obtenemos la potencia de los equipos de iluminación a partir de dos valores típicos en función de la superficie de la habitación a iluminar:

$$Q_{ilum} = 10 \frac{W}{m^2} \quad (\text{pasillo})$$

$$Q_{ilum} = 20 \frac{W}{m^2} \quad (\text{resto de estancias})$$

Por lo que obtenemos una carga interna debida a la iluminación de 2,72 kW.

- Cargas debidas a los equipos:

Al igual que los equipos de iluminación, el resto de equipos eléctricos existentes en una vivienda también generan ciertas cantidades de calor durante su funcionamiento normal que han de ser tenidas en cuenta para dimensionar el sistema de refrigeración. En una vivienda existen numerosos equipos eléctricos, pero aquí tendremos en cuenta solo aquellos que tienen un mayor uso, es decir, frigoríficos, televisiones y ordenadores. Además como alguno de estos equipos no funciona durante todo el día, les asignaremos un factor de utilización a la hora de calcular la carga térmica.

Equipo eléctrico	Cantidad	Calor producido (W)	Factor de utilización (%)	Carga térmica (W)
Frigorífico	1	200	100	200
Ordenador	2	200	50	200
Televisión	2	150	60	180

Figura 2.26. Carga térmica interna generada por los equipos eléctricos.

Por lo tanto, obtenemos una carga interna debida al uso de los equipos eléctricos de 580 W.

Por tanto, sumando las tres componentes anteriores de la carga térmica interna, obtenemos un valor de 3,82 kW.

• Carga térmica de radiación:

La carga térmica de radiación no la tendremos en cuenta, ya que nuestra vivienda dispone de unas persianas orientables que harán nula la radiación solar sobre las superficies acristaladas de la fachada sur.



Figura 2.27. Persianas orientables instaladas en la vivienda.

A continuación obtendremos, para cada día del año y cada hora del día, la posición que ha de tener la persiana para que, en el período de verano proporcione sombra sobre las superficies acristaladas (anulando la carga térmica por radiación) pero permitiendo la máxima visibilidad al exterior, y en el período de invierno permitan que la radiación solar incida sobre las superficies acristaladas, ayudando de esta forma a calefactar la vivienda.

Para determinar la posición de la persiana necesitaremos conocer la altura solar (α), que se define como el ángulo que forma con la horizontal una línea que une al observador con el Sol. Emplearemos la siguiente expresión.

$$\alpha = \arcsin(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega))$$

Donde:

ϕ : latitud de Madrid. $\phi = 40,41667^\circ$.

δ : declinación solar. La declinación solar es el ángulo entre la línea Sol – Tierra y el plano ecuatorial celeste (proyección del ecuador terrestre). El valor de la declinación solar varía a lo largo del año, de $23,45^\circ$ (21 de Junio) a $-23,45^\circ$ (21 de diciembre), pasando por cero en los equinoccios de primavera y otoño. Este ángulo se calcula para cada día del año como:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right)$$

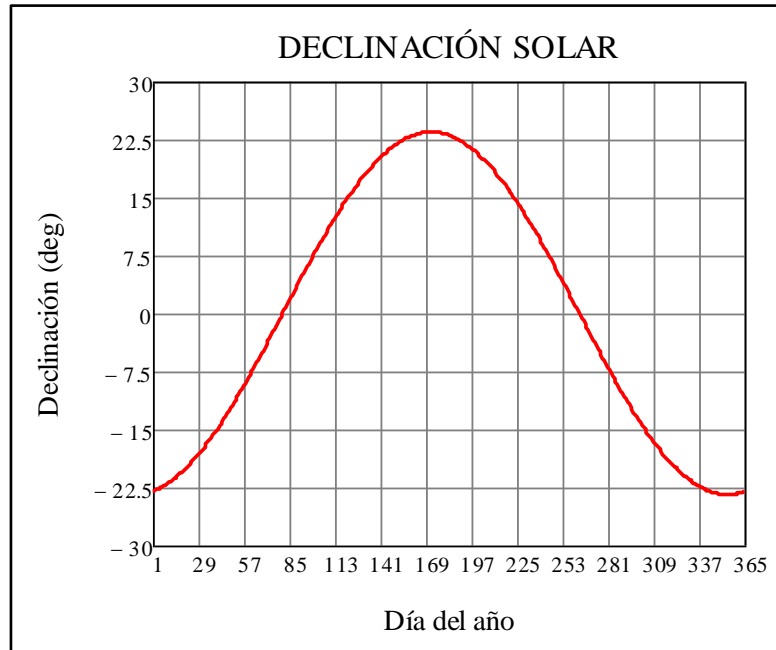


Figura 2.28. Declinación solar diaria.

ω : ángulo horario. Es aquel que forman dos planos que contienen al eje de rotación de la Tierra, uno de los cuales pasa por la localización deseada y el otro por el sol. Este ángulo será 0° cuando el Sol está en su cenit (12 horas solares) y varía a razón de 15° por hora.

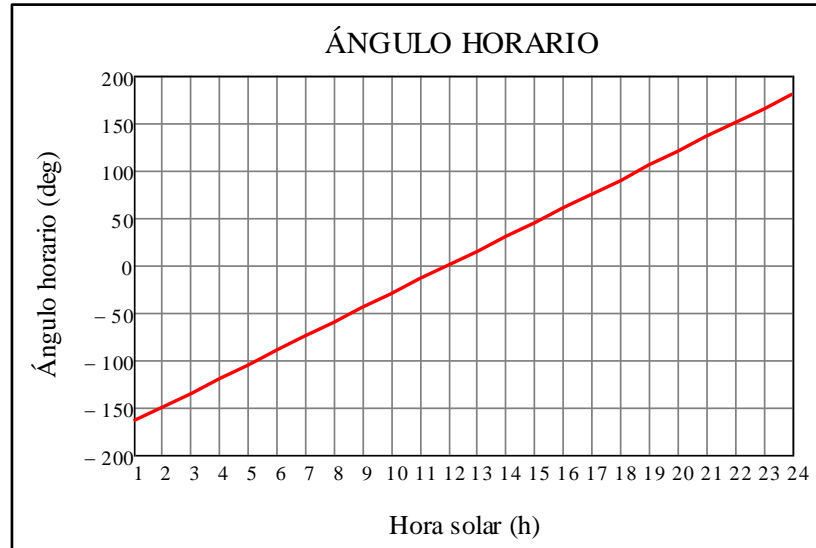


Figura 2.29. Ángulo horario.

De esta forma, obtenemos la altura solar como función del día del año y de la hora del día, cuya variación se muestra en la siguiente figura.

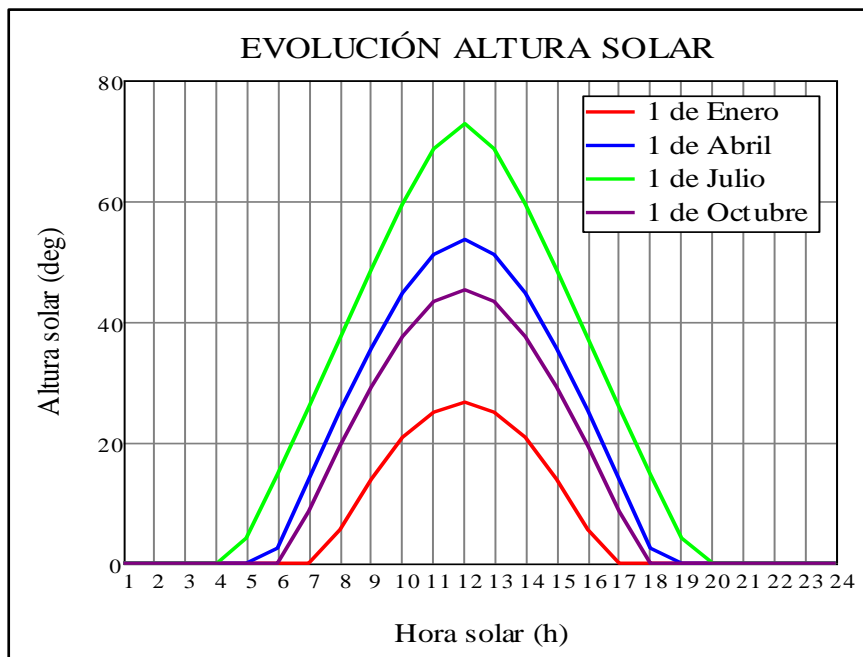


Figura 2.30. Evolución de la altura solar con la hora solar.

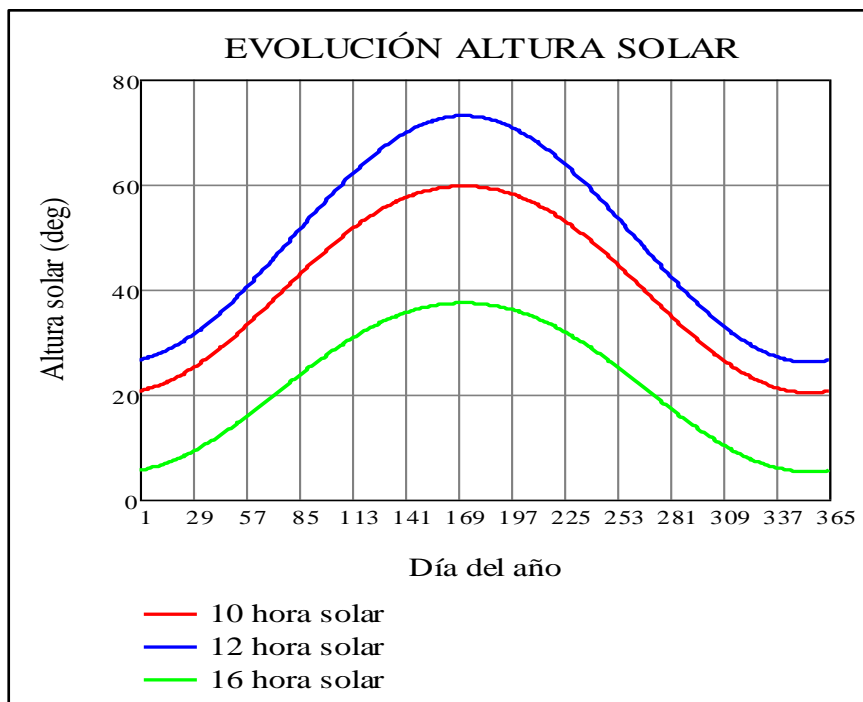


Figura 2.31. Evolución de la altura solar con el día del año.

Conocida la altura solar podemos determinar la posición que ha de tener la persiana para cada día del año y para cada hora del día, que vendrá determinada por el ángulo que debe tener respecto a la superficie acristalada, como se muestra en la figura.

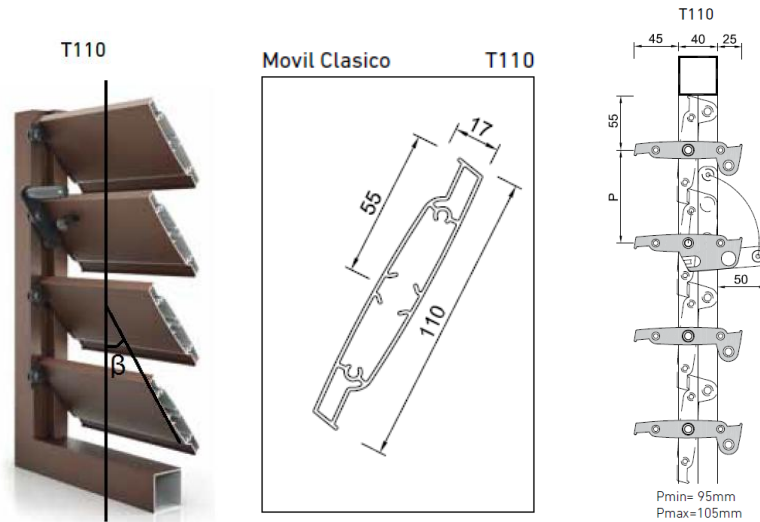


Figura 2.32. Ángulo a determinar y dimensiones de la persiana.

- Período de invierno:

En invierno buscamos que la radiación penetre en la ventana, por lo que la persiana deberá estar alineada con la altura solar. Así, la posición de la persiana la obtenemos como:

$$\beta = 90^\circ + \alpha$$

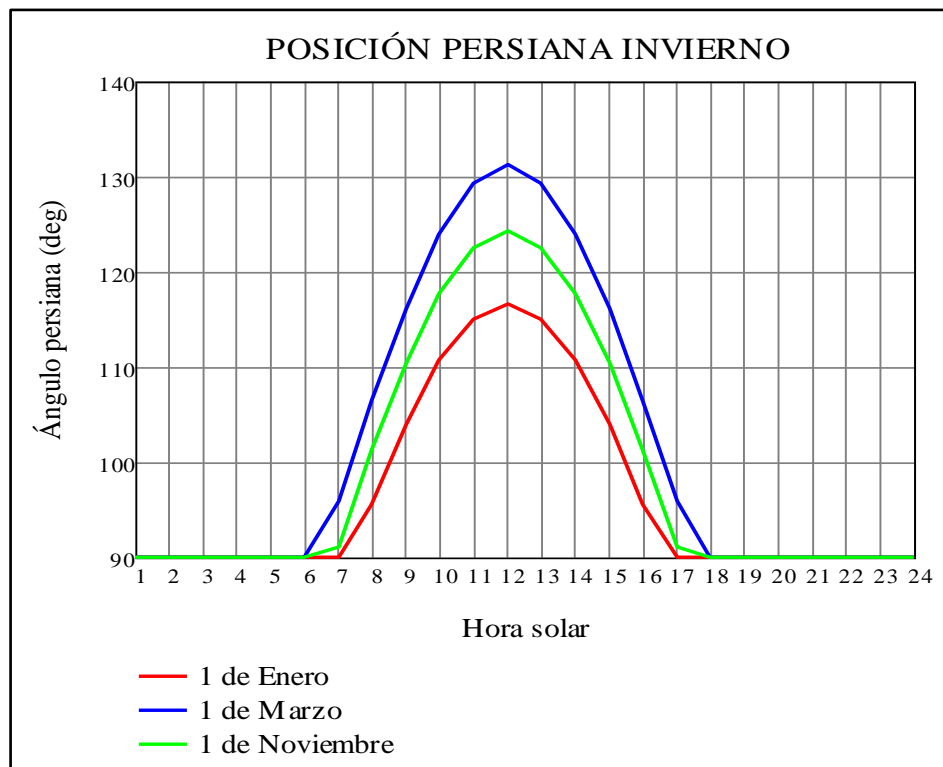


Figura 2.33. Posición de la persiana en invierno.

- Período de verano:

En verano buscamos que las persianas den sombra sobre el cristal. Conocida la geometría de la persiana, calculamos la posición de la persiana como:

$$tg(\alpha) = \frac{h - l \cdot \cos(\beta)}{l \cdot \sin(\beta)}$$

Donde h es la separación entre dos persianas (95 mm) y l es el ancho de la lama de la persiana (110 mm).

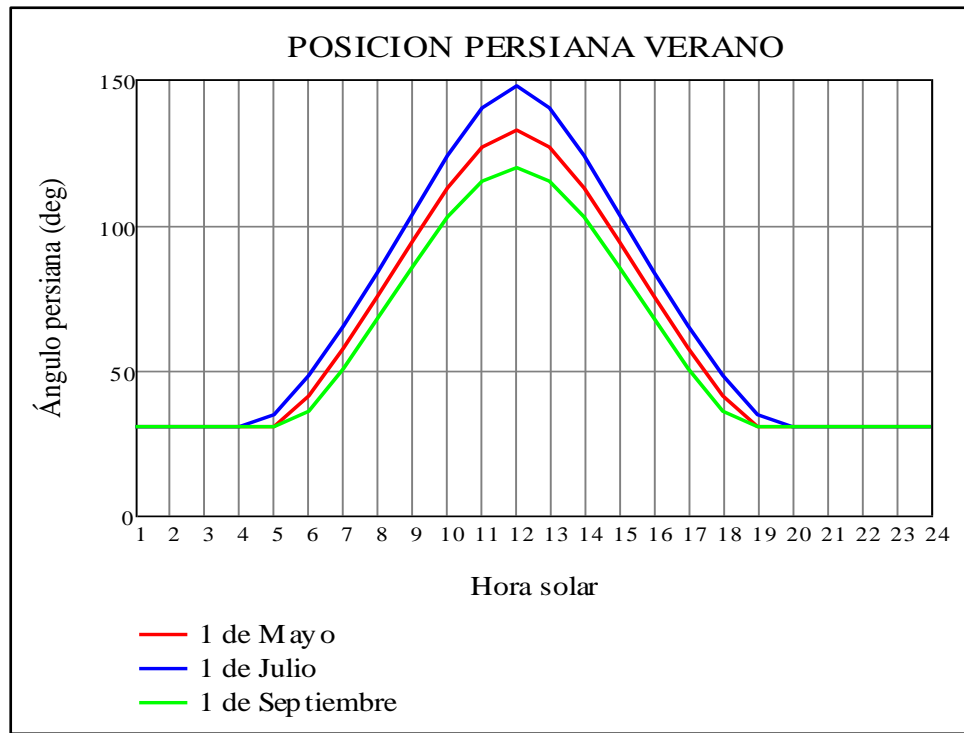


Figura 2.34. Posición de la persiana en verano.

Por tanto, una vez conocidas las cargas térmicas de transmisión, de aire exterior e interna, obtenemos la carga térmica de refrigeración total como la suma de todas ellas. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente gráfica.

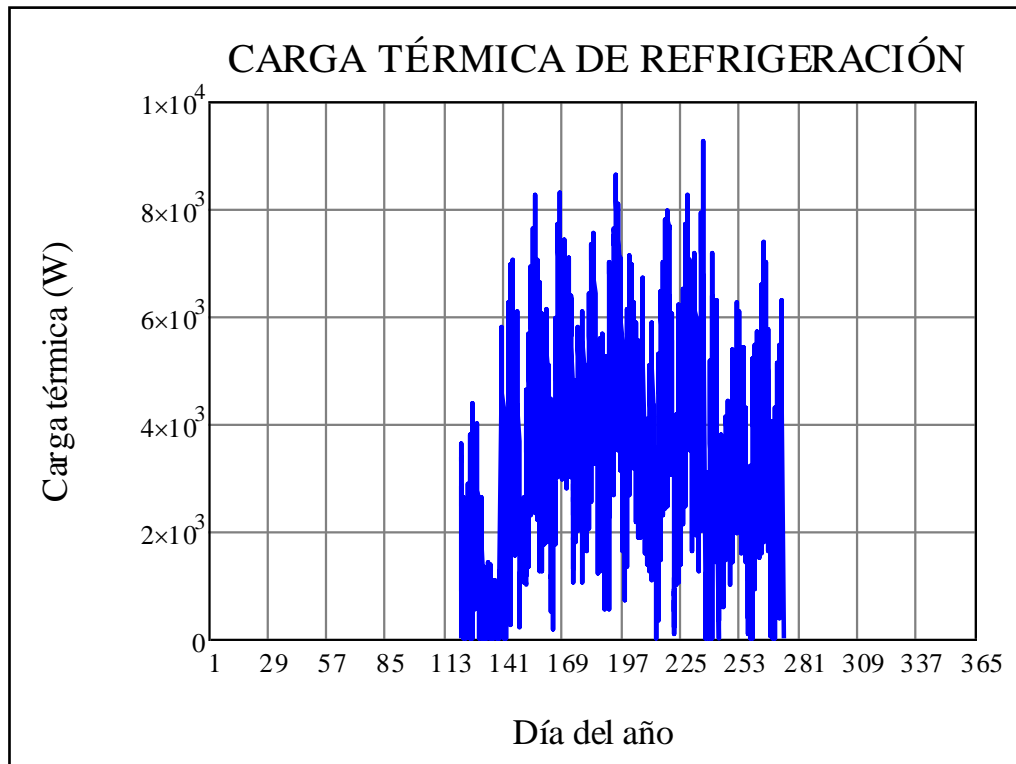


Figura 2.35. Carga térmica de refrigeración total.

En el gráfico anterior podemos ver que la carga térmica total de refrigeración alcanza un máximo de 9,24 kW, por lo que la instalación de refrigeración que vaya a hacer frente a esta carga térmica tendrá que tener una potencia superior a esta.

2.3.3.- CARGA TÉRMICA ANUAL TOTAL

Una vez que hemos calculado las cargas térmicas durante los períodos de refrigeración y refrigeración podemos representarlas conjuntamente en un mismo gráfico y obtener la energía total que habrá de invertirse para mantener la vivienda en las condiciones de confort fijadas al comienzo del presente capítulo.

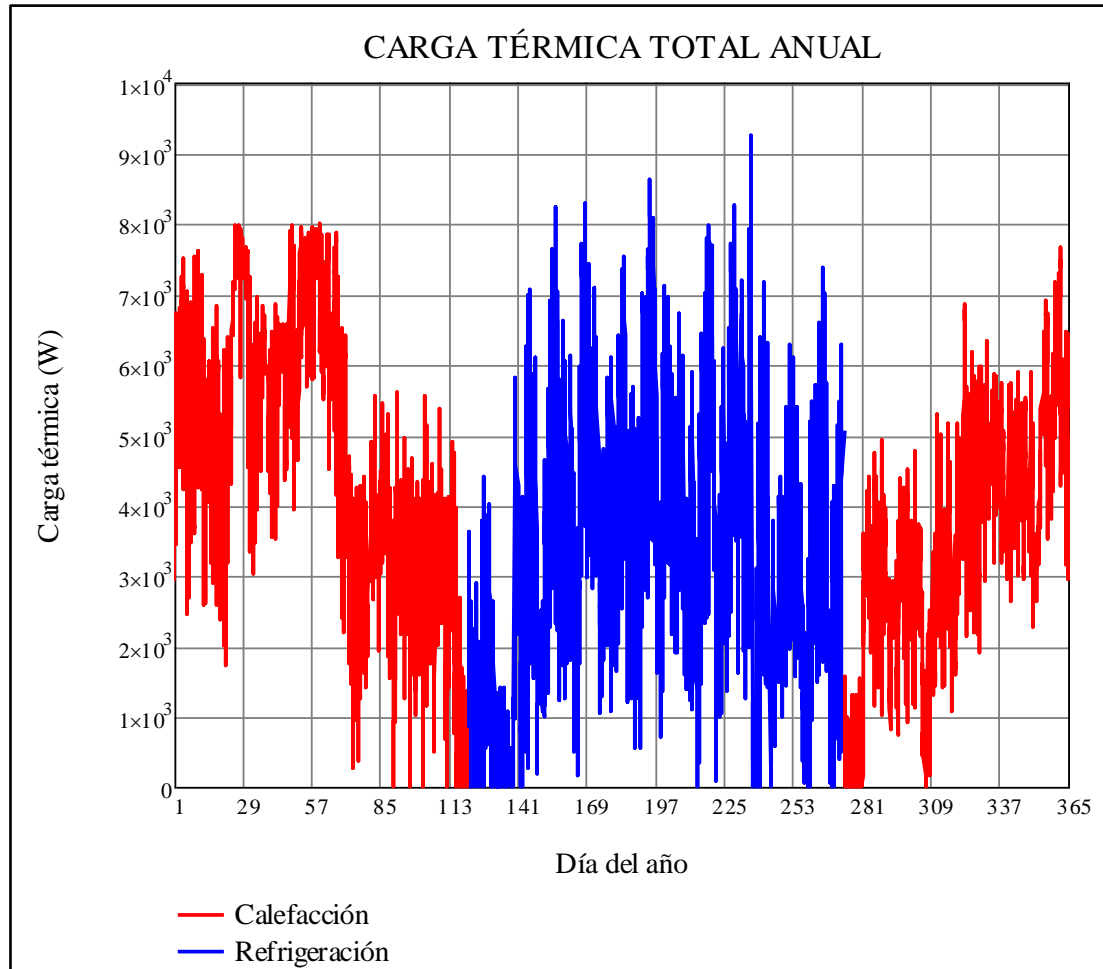


Figura 2.36. Carga térmica total anual.

$$Q_{cal_{max}} = 7,996 \text{ kW} \quad Q_{ref_{max}} = 9,24 \text{ kW}$$

En el gráfico anterior comprobamos como los valores máximos de las cargas térmicas de calefacción y refrigeración son similares, debido a las características climáticas de la Comunidad de Madrid. Por tanto, conocida la carga térmica para cada hora del año, podemos calcular la energía consumida como:

$$E_{cal} = \sum_i Q_{cal_i} \cdot \Delta t = 20,82 \text{ MWh}$$

$$E_{ref} = \sum_i Q_{ref_i} \cdot \Delta t = 11,93 \text{ MWh}$$

Y la energía total anual consumida en la climatización de la vivienda será por tanto:

$$E_T = E_{cal} + E_{ref} = 32,75 \text{ MWh}$$

2.4.- DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA

2.4.1.- CÁLCULO DE LA DEMANDA DE ACS

El valor de la demanda de agua caliente sanitaria está determinado en el Código Técnico de la Edificación (CTE) en sección HE4 (contribución solar mínima de agua caliente sanitaria) perteneciente al Documento Básico HE Ahorro de Energía. Este documento establece que para el cálculo de la demanda de ACS necesitaremos los siguientes datos:

- 1) Consumo diario de ACS a 60 °C por persona y día. El CTE establece un consumo en litros tabulado según el tipo y uso de la edificación.

Criterio de demanda	Litros/día-unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona
Hotel ****	55	Por persona
Hotel ***	41	Por persona
Hotel/hostal **	34	Por persona
Camping	21	Por persona
Hostal/pensión *	28	Por persona
Residencia	41	Por persona
Centro penitenciario	28	Por persona
Albergue	24	Por persona
Vestuarios/Duchas colectivas	21	Por persona
Escuela sin ducha	4	Por persona
Escuela con ducha	21	Por persona
Cuarteles	28	Por persona
Fábricas y talleres	21	Por persona
Oficinas	2	Por persona
Gimnasios	21	Por persona
Restaurantes	8	Por persona
Cafeterías	1	Por persona

Figura 2.37. Demanda de referencia de ACS a 60 °C. Fuente: C.T.E.

En nuestro caso, al tratarse de una vivienda unifamiliar, corresponde a un consumo diario de 28 litros por persona.

- 2) Número de ocupantes de la vivienda según el número de dormitorios. El CTE establece que, en el caso de viviendas, el cálculo del número de personas por vivienda deberá hacerse utilizando como valores mínimos los que se relacionan a continuación.

Número de dormitorios	1	2	3	4	5	6	≥6
Número de Personas	1,5	3	4	5	6	6	7

Figura 2.38. Valores mínimos de ocupación de cálculo en uso residencial privado.

Fuente: C.T.E.

Nuestra vivienda cuenta con tres dormitorios y por lo que debemos considerar que será habitada por cuatro personas y por lo tanto contará con un consumo de 112 litros por día a 60 °C.

Una vez conocida la demanda de ACS por día a 60 °C, debemos analizar la temperatura del agua de red en la localidad considerada para obtener finalmente la cantidad de energía que se debe suministrar para hacer frente a esta demanda.

2.4.2.- TEMPERATURA DEL AGUA DE RED

En el apéndice B de la sección HE4 del Documento Básico HE Ahorro de Energía se proporcionan los datos de la temperatura diaria mensual de agua fría para las distintas capitales de provincia. Los valores de esta temperatura en Madrid se presentan en la siguiente tabla.

Localidad: Madrid	
Mes	Temperatura (°C)
Enero	8
Febrero	8
Marzo	10
Abril	12
Mayo	14
Junio	17
Julio	20
Agosto	19
Septiembre	17
Octubre	13
Noviembre	10
Diciembre	8

Figura 2.39. Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C). Fuente: C.T.E.

Como es lógico, la temperatura del agua de red resulta más elevada durante los meses de verano, llegando a tener una diferencia de temperatura entre los meses de invierno y de verano de hasta 12 °C.

Conocida la temperatura de red ya podemos obtener la energía necesaria para la producción de ACS.

2.4.3.- CONSUMO DE ENERGÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE ACS

El Código Técnico de la Edificación establece en su Sección HS4 de su Documento Básico de Salubridad que la temperatura de suministro de ACS en los puntos de consumo debe estar comprendida entre 50 y 65 °C, por lo que tomaremos la temperatura de 60 °C como la temperatura a la cuál debe producirse el ACS.

El consumo de energía necesario para producir los 112 litros por día a 60 °C requeridos puede obtenerse a partir de la siguiente expresión.

$$E_{ACS} = D_{ACS} \cdot \rho_{H_2O} \cdot C_{p_{H_2O}} \cdot (T_{ACS} - T_{red})$$

Donde:

E_{ACS} : energía necesaria para ACS (J/día).

D_{ACS} : demanda de ACS (l/día).

ρ_{H_2O} : densidad del agua. $\rho_{H_2O} = 1000 \text{ kg/m}^3$.

$C_{p_{H_2O}}$: capacidad calorífica del agua. $C_{p_{H_2O}} = 4182 \text{ J/kgK}$.

T_{ACS} : temperatura de suministro de ACS, 60 °C.

T_{red} : temperatura del agua de la red.

Como tenemos los datos de la temperatura de red mensualmente, obtendremos una energía necesaria para producir el ACS variable para cada mes, es decir, consideraremos que esta energía necesaria será constante para todos los días dentro de un mismo mes. Así pues, aplicando la expresión anterior obtenemos la siguiente distribución mensual de la necesidad de energía para producir el ACS.

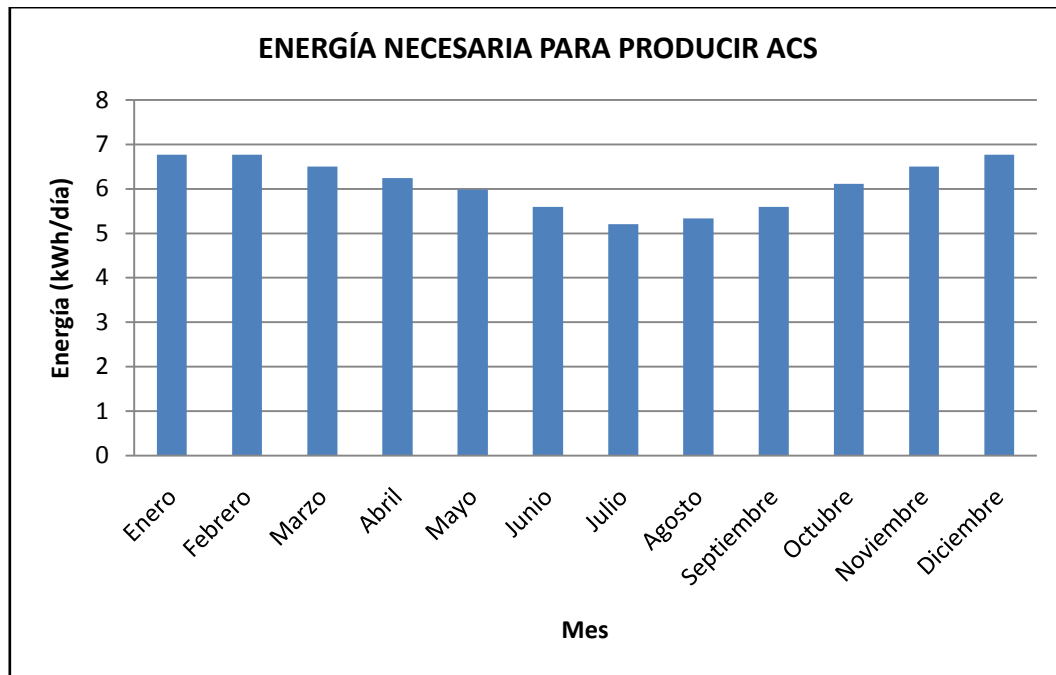


Figura 2.40. Variación mensual de la cantidad de energía necesaria para producir ACS.

En la figura anterior podemos ver como la energía necesaria para producir el ACS es superior en los meses de invierno, dado que el salto térmico entre la temperatura de red y de consumo es mayor.

Por último, el Código Técnico de la Edificación, en el Documento Básico HE Ahorro de Energía, establece una contribución solar mínima anual para ACS según la zona climática en que se encuentre la vivienda, es decir, expresa la obligatoriedad de cubrir mediante una instalación solar una parte de la demanda de ACS.

Demanda total de ACS del edificio (l/día)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5000	30	30	40	50	60
5000 - 10000	30	40	50	60	70
> 10000	30	50	60	70	70

Figura 2.41. Contribución solar mínima anual para ACS en %. Fuente: CTE

Dado que Madrid se encuentra en la zona climática IV y tenemos un consumo diario de 112 litros por día, debemos alcanzar una fracción de aporte solar mínima del 50 %.

2.5.- DEMANDA DE ELECTRICIDAD

Para poder evaluar el consumo de electricidad de la vivienda, tenemos que recurrir a facturas de electricidad de otra vivienda de similares características. Como estas facturas tienen carácter bimensual, tomaremos unos valores de consumo de electricidad de la vivienda analizada también bimensuales.

Así, la distribución anual del consumo de energía eléctrica de la vivienda que utilizaremos para realizar nuestra estimación es la siguiente.

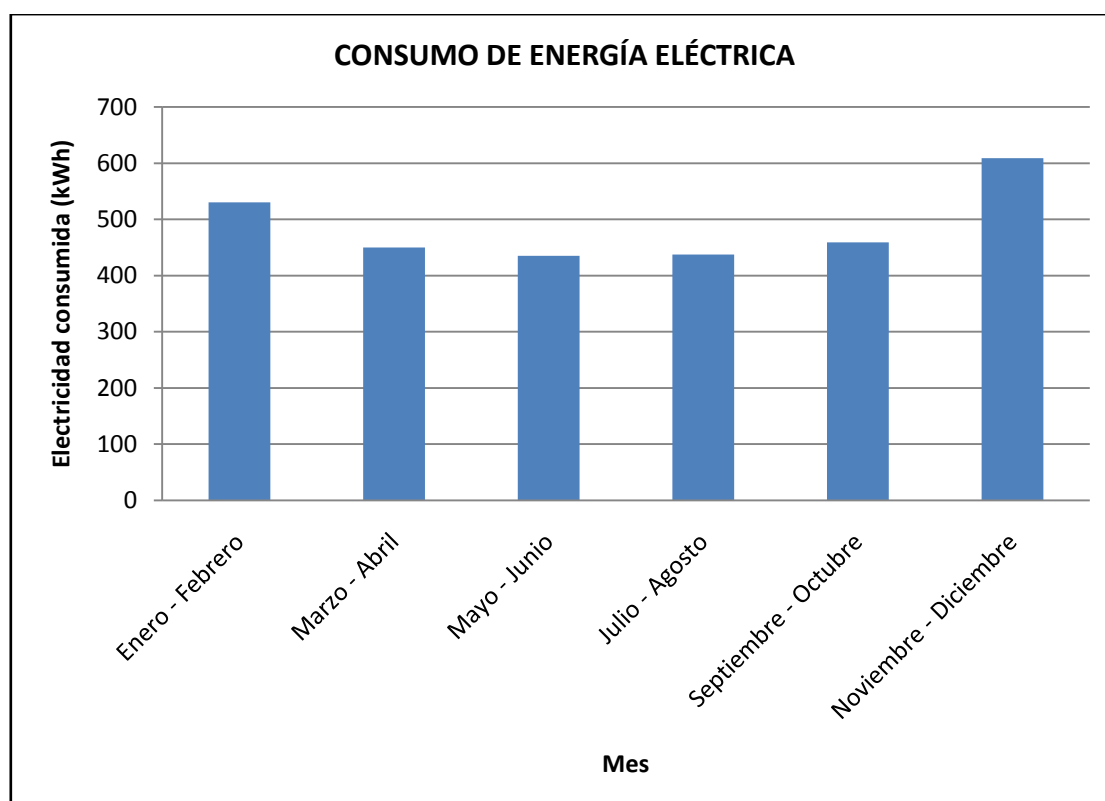


Figura 2.42. Distribución anual del consumo de electricidad en una vivienda de características similares a la estudiada.

Como se puede ver en el gráfico, el consumo de electricidad presenta una pequeña disminución durante los meses de verano debido fundamentalmente a que durante el verano los días son más largos, y por lo tanto el consumo de la instalación de iluminación será

levemente inferior al registrado durante el invierno, ya que el resto de equipos eléctricos de la vivienda presentarán aproximadamente un consumo constante durante todo el año.

Conocido entonces el consumo de electricidad de nuestra vivienda, deberemos diseñar la instalación solar fotovoltaica para que proporcione la energía eléctrica necesaria para cubrir esta demanda.

3.- DIMENSIONADO DE LAS INSTALACIONES

3.1.- INTRODUCCIÓN

En este capítulo abordaremos el dimensionado de las diferentes instalaciones con las que contará la vivienda para hacer frente a la carga térmica de calefacción en invierno, la carga térmica de refrigeración en verano y la demanda anual de agua caliente sanitaria y electricidad.

La instalación de agua caliente sanitaria estará basada en una instalación solar térmica, el objetivo en este capítulo será obtener la superficie captora necesaria para hacer frente a una parte importante de la demanda. Para hacer frente a la carga térmica de calefacción utilizaremos una caldera de biomasa y para hacer frente a la carga de refrigeración un equipo de refrigeración mecánica, y nuestro objetivo será obtener el consumo de pellets durante el período de invierno y el consumo de electricidad durante el verano. Por último, para hacer frente a la demanda anual de electricidad dimensionaremos una instalación solar fotovoltaica, por lo que el objetivo en este capítulo será también el de obtener la superficie captora necesaria de esta instalación.

Así, conociendo finalmente la energía producida por cada uno de los sistemas podremos analizar posteriormente estas instalaciones desde un punto de vista económico y medioambiental.

3.2.- INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE ACS

3.2.1.- COMPONENTES PRINCIPALES DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA ACS

En general, una instalación solar térmica se compone de dos circuitos:

- Circuito primario: compuesto por elementos específicos para trabajar con la energía solar y otros componentes también utilizados en las instalaciones clásicas de producción de calor. El circuito primario tiene como objetivo captar la radiación solar, convertirla en calor, transferirla al fluido térmico que circula por el colector y transportarla hasta un tanque de almacenamiento. Por tanto, los componentes principales del circuito primario son: colector, tanque de almacenamiento (acumulador), intercambiador de calor, bomba de circulación, red de tuberías, sistemas de medida y control, sistema de seguridad y protección contra la corrosión y equipo necesario para eliminar el aire.
- Circuito secundario: tiene como objetivo transportar el calor desde el tanque de almacenamiento hasta el punto de consumo de ACS. El circuito secundario se

compone de una red de tuberías, bomba de circulación, intercambiador de calor, equipo de medida, equipo de control y sistema de seguridad. Además, como este sistema se encuentra bajo condiciones meteorológicas, será necesario proveer la instalación de una fuente de calor convencional (caldera de respaldo), instalada también en el circuito secundario.

Los componentes principales de la instalación se pueden observar en el siguiente esquema:

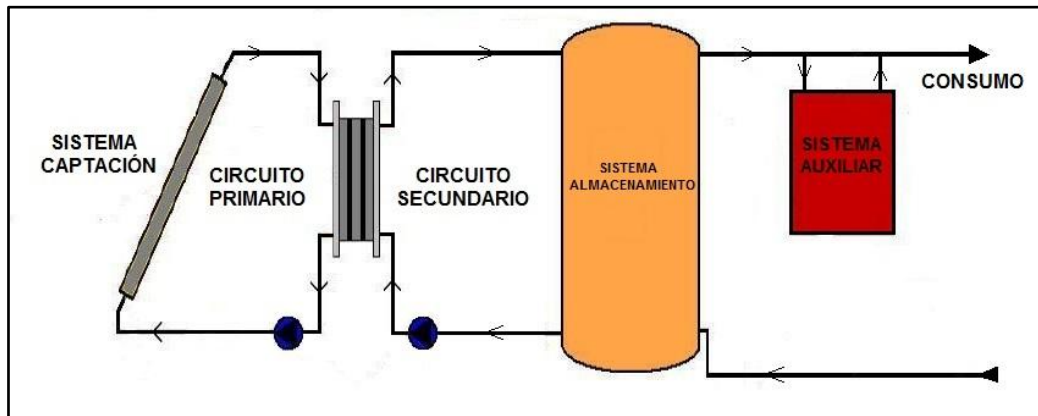


Figura 3.1. Esquema de la instalación solar térmica para producción de ACS.

El motivo de la división entre el circuito primario y secundario radica en la utilización de diferentes fluidos de trabajo en ambos circuitos. En el circuito primario se utilizará una mezcla de agua y anticongelante, para evitar la congelación del fluido cuando la temperatura exterior sea muy baja y los correspondientes daños que pueda producir a la instalación; mientras que por el circuito secundario circulará agua potable, ya que no existe riesgo de congelación y además de este sistema tomaremos el agua de consumo.

3.2.2.- DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA ACS

Modelo de los colectores planos:

La situación del campo de colectores se realizará de acuerdo a las indicaciones del Código Técnico, es decir, con una orientación sur y una inclinación de los colectores igual a la latitud de Madrid, 40,41°, ya que tenemos una demanda prácticamente constante a lo largo del año.

La instalación solar térmica contará con 2 colectores planos Chromagen QR – D, los cuales suponen una superficie de captación total de 3,54 m² y cuya hoja de características se puede consultar en los anexos de este proyecto. La curva de rendimiento térmico de este colector se muestra en la siguiente figura.

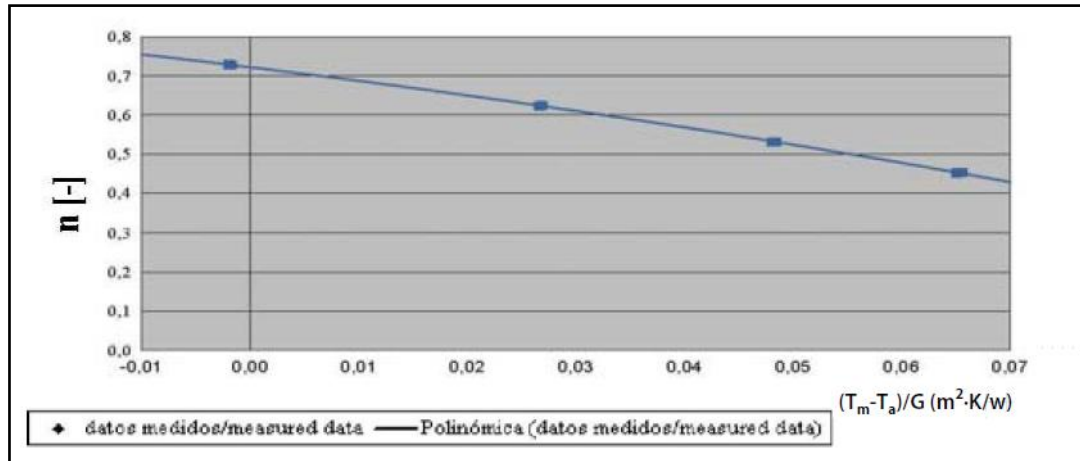


Figura 3.2. Curva de rendimiento térmico de los colectores planos.

$$\eta_0 = 69,6 \% \quad , \quad k_1 = 4,821 \frac{W}{m^2 K} \quad , \quad k_2 = 0,015 \frac{W}{m^2 K^2}$$

En la figura vemos como el rendimiento del colector disminuye cuando aumenta la temperatura media del fluido caloportador (T_m), disminuye la temperatura ambiente (T_a) o disminuye la radiación incidente (G). Ajustaremos la curva anterior a la siguiente recta:

$$\eta_{co} = 0,696 - 4,821 \frac{(T_m - T_a)}{G}$$

Método de cálculo:

Para llevar a cabo el dimensionamiento de la instalación vamos a emplear el método *f-Chart*, desarrollado en 1976 por los profesores Duffie y Beckman, que correlacionaron cientos de resultados de simulaciones numéricas y experimentales obtenidos con métodos de cálculo dinámicos. Este método se emplea en la actualidad para realizar el dimensionado de instalaciones solares con temperaturas de trabajo inferiores a 70 °C y proporciona una estimación del porcentaje de energía que es suministrado por la instalación solar del total de las necesidades energéticas. La variable principal de la que dependerá el grado de cobertura es el área colectora. Este método es el recomendado por el "Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura", y utiliza la siguiente ecuación:

$$f = 1,029D_1 - 0,065D_2 - 0,245D_1^2 + 0,0018D_2^2 + 0,0215D_1^3$$

Donde D_1 y D_2 son dos parámetros que determinaremos a continuación.

- 1) Valoración de las cargas caloríficas para el calentamiento de agua destinada a la producción de ACS:

Ya obtuvimos en el capítulo anterior la demanda de ACS para cada mes del año:

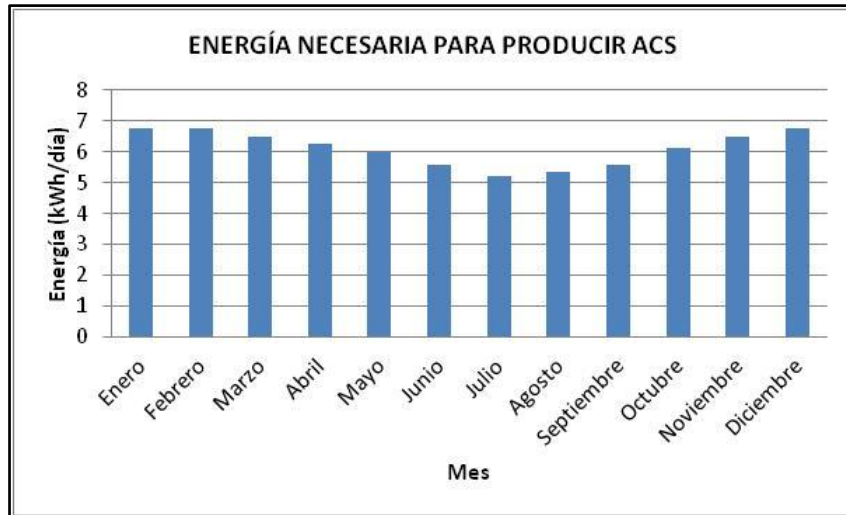


Figura 3.3. Demanda de energía para la producción de ACS.

2) Valoración de la radiación solar incidente en la superficie inclinada de los captadores:

La radiación diaria mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área la obtenemos de la norma UNE-EN 94 002:

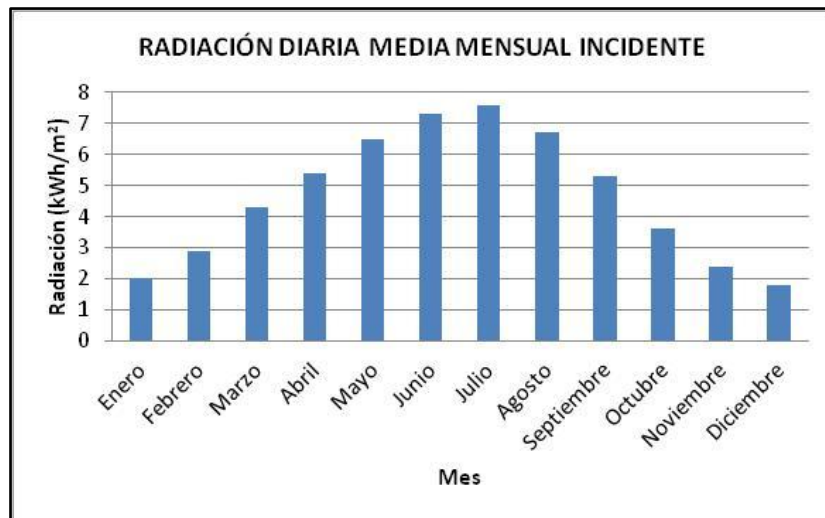


Figura 3.4. Radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área.

3) Cálculo del parámetro D_1 :

El parámetro D_1 expresa la relación entre la energía absorbida por la placa del captador plano y la carga calorífica total de calentamiento durante un mes:

$$D_1 = \frac{E_a}{Q_c} = \frac{S_c \cdot F'_r(\tau\alpha) \cdot E_{dia} \cdot N}{Q_c}$$

Donde:

S_c : superficie del captador (m^2).

E_{dia} : radiación diaria media mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (kWh/m^2).

N : número de días del mes.

$F'_r(\tau\alpha)$: factor adimensional que viene dado por:

$$F'_r(\tau\alpha) = F_r(\tau\alpha)_n \cdot \left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right] \cdot \left(\frac{F'_r}{F_r} \right)$$

$F_r(\tau\alpha)_n$: factor de eficiencia óptica del captador.

$\left[\frac{(\tau\alpha)}{(\tau\alpha)_n} \right]$: modificador del ángulo de incidencia. Tomaremos 0,96.

$\left(\frac{F'_r}{F_r} \right)$: factor de corrección del conjunto captador-intercambiador.

Tomaremos 0,95.

4) Cálculo del parámetro D_2 :

El parámetro D_2 expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador y la carga calorífica de calentamiento durante un mes:

$$D_2 = \frac{E_p}{Q_c} = \frac{S_c \cdot F'_r U_L \cdot (100 - t_a) \cdot \Delta t \cdot K_1}{Q_c}$$

Donde:

S_c : superficie del captador (m^2).

$F'_r U_L$: factor adimensional que viene dado por:

$$F'_r U_L = F_r U_L \cdot \left(\frac{F'_r}{F_r} \right)$$

$F_r U_L$: pendiente de la curva característica del captador (coeficiente global de pérdidas del captador).

t_a : temperatura media mensual del ambiente ($^{\circ}C$).

Δt : período de tiempo considerado, un mes (s).

K_1 : factor de corrección por almacenamiento, que se obtiene como:

$$K_1 = \left[\frac{kg \text{ acumulación}}{75 \cdot S_c} \right]^{0,25}$$

cumpliéndose $37,5 < \frac{kg \text{ acumulación}}{S_c} < 300$

El acumulador que utilizaremos en nuestra instalación es el modelo ASUV006 de la compañía Chromagen, que cuenta con un volumen de acumulación de 1000 L, cumpliendo la condición anterior. Su hoja de características puede consultarse en los anexos del proyecto.

5) Determinación del aporte solar:

Con una superficie de captación de $3,54 \text{ m}^2$, se obtienen los parámetros D_1 y D_2 , y aplicando la ecuación expuesta inicialmente se calcula la fracción de la carga calorífica mensual aportada por el sistema de energía solar, f . De esta forma, podemos calcular la energía útil captada cada mes, Q_u , como:

$$Q_u = f \cdot Q_c$$

Y por lo tanto podemos obtener el aporte solar como el cociente entre la energía útil aportada por la instalación solar y la energía necesaria.

$$AS = \frac{Q_u}{Q_c}$$

Obtenemos los siguientes resultados de cobertura solar mensual.

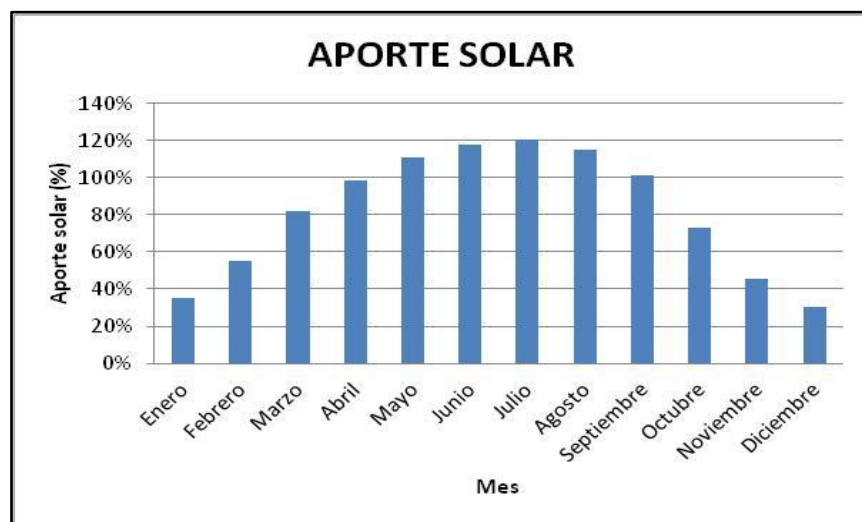


Figura 3.5. Variación del aporte solar para cada mes del año.

Por lo tanto, ya podemos diferenciar que parte de la demanda se podrá cubrir con la instalación solar y que energía deberá proporcionar la fuente auxiliar en cada mes del año.

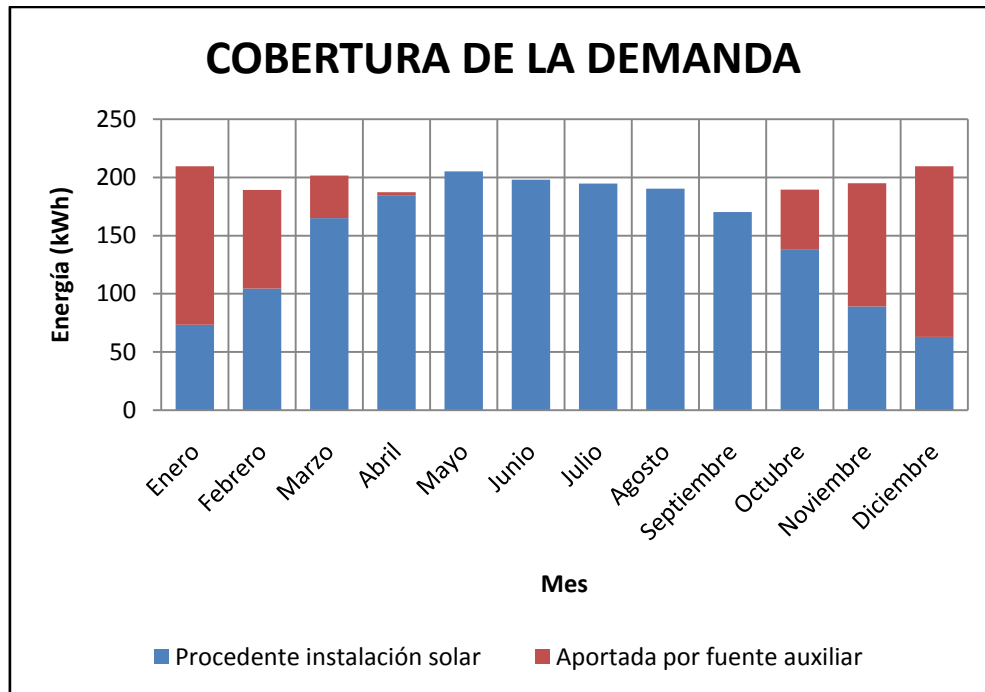


Figura 3.6. Energía a aportar por cada sistema para cubrir la demanda energética.

6) Valoración de la cobertura solar anual:

Finalmente, definimos un aporte solar anual como la relación entre la suma de las coberturas mensuales y la suma de las cargas caloríficas.

$$AS_{año} = \frac{\sum_i Q_{u_i}}{\sum_i Q_{c_i}} = \frac{1,777 \text{ MWh}}{2,229 \text{ MWh}} \cdot 100 = 79,7 \%$$

Hemos obtenido un aporte solar anual del 79,7 %, superando así el valor más restrictivo fijado en el Código Técnico de Edificación (70 %).

Por otro lado, podemos observar que la contribución solar real sobrepasa el 100 % de la demanda energética en cuatro meses consecutivos, por lo que estamos obligados a adoptar medidas para desviar los excedentes energéticos. En este caso, la vivienda contará con una piscina donde verter dicho excedente energético.

3.3.- INSTALACIÓN TÉRMICA PARA CALEFACTAR EL EDIFICIO

3.3.1.- BIOMASA

La biomasa es materia vegetal que fija la energía solar por fotosíntesis y materia animal, excluyendo la que se encuentra fosilizada. La eficiencia energética media de conversión de radiación solar a biomasa de la biosfera es muy baja (0,05 %) y la de los cultivos está entre el 0,5 % y el 2,5 %. A pesar de estos bajos valores, la extensión ocupada es muy grande, por lo

que la capacidad actual de fijación de los sistemas biológicos mundiales es muy importante, del orden de cinco veces la demanda energética mundial, lo que da idea de su magnitud y potencial.

Se puede clasificar la biomasa según la procedencia de las sustancias empleadas:

- Biomasa vegetal: relacionada con las plantas en general (troncos, ramas, tallos, etc.).
- Biomasa animal: obtenida a partir de sustancias de origen animal (grasas, restos, etc.).

También se puede clasificar la biomasa como recurso energético en:

- Biomasa natural: es la que se produce en la naturaleza sin intervención humana.
- Biomasa residual: son los residuos generados en las actividades agrícolas, silvícolas y ganaderas, así como los residuos de la industria agroalimentaria y en la industria de transformación de la madera.
- Cultivos energéticos: son aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria, existen otros cultivos como los lignocelulósicos forestales y herbáceos y cosechas.

Esta fuente de energía no sufre las intermitencias de otras renovables, pues es energía interna almacenada en la materia y que puede ser utilizada a voluntad, aunque la meteorología sí puede ejercer un poder de estacionalidad durante el ciclo productivo. Sin embargo, no resulta instantánea, ya que requiere de un ciclo que como mínimo es de una estación, un año o varios años (plantación, cultivo, recolección, tratamiento, transporte, distribución y conversión).

La biomasa, extraída de la naturaleza de forma sostenible, es neutra en cuanto a emisiones de CO₂ en sí misma, es decir, la cantidad emitida a la atmósfera por su empleo es fijada por la fotosíntesis al año siguiente. Sin embargo, los trabajos involucrados en su producción consumirán energías fósiles, las cuales llevan asociadas unas emisiones.

3.3.2.- CONTENIDO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA

La biomasa puede generar productos preparados para su uso energético, llamados biocombustibles. Un biocombustible es biomasa homogeneizada y preparada para su uso cómodo en el mercado.

En el sector doméstico se usan biocombustibles sólidos, generalmente pellets. Los pellets es madera prensada procesada a partir de restos de serrín o residuos del bosque, sin utilizar ningún aglomerante más que la lignina (polímero natural presente en la madera). Al estar normalizadas las dimensiones de los pellets es posible la combustión totalmente automática en calderas. Los pellets se pueden transportar desde su almacén (silo) hasta la caldera mediante el uso de tornillos sinfín o sistemas de aspiración.



Figura 3.7. Pellets utilizados en calderas domésticas.

Fuente: www.larcalor.com

Las normas de calidad de los pellets especifican la cantidad de agua residual del combustible permitida, así como la densidad y el nivel de abrasión requerida, con el objetivo de establecer los valores precisos para el buen funcionamiento de la caldera. Además, se debe tener en cuenta que los pellets deben protegerse de la humedad, ya que si absorben agua se hinchan y se inutilizan.

El balance energético de este combustible es positivo. Para la preparación de los pellets como combustible se utiliza únicamente un 3 % de la energía que se puede lograr mediante su combustión, mientras que en el caso del gas natural es del 10 %, el del gasoil un 12 % y la electricidad un 200 %.

La biomasa es una fuente energética que se produce con recursos internos del país. Además, no está sujeto ni a las fuertes presiones especulativas, ni a las fuertes cargas fiscales con las que se penalizan la energía eléctrica o los combustibles fósiles.

Un valor representativo del PCI de los pellets es de 18 MJ/kg, aproximadamente una tercera parte que el gas natural y el gasóleo.

3.3.3.- DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN TÉRMICA PARA CALEFACCIÓN

En el apartado anterior de este proyecto analizamos la demanda de energía térmica necesaria para calefactar el edificio.

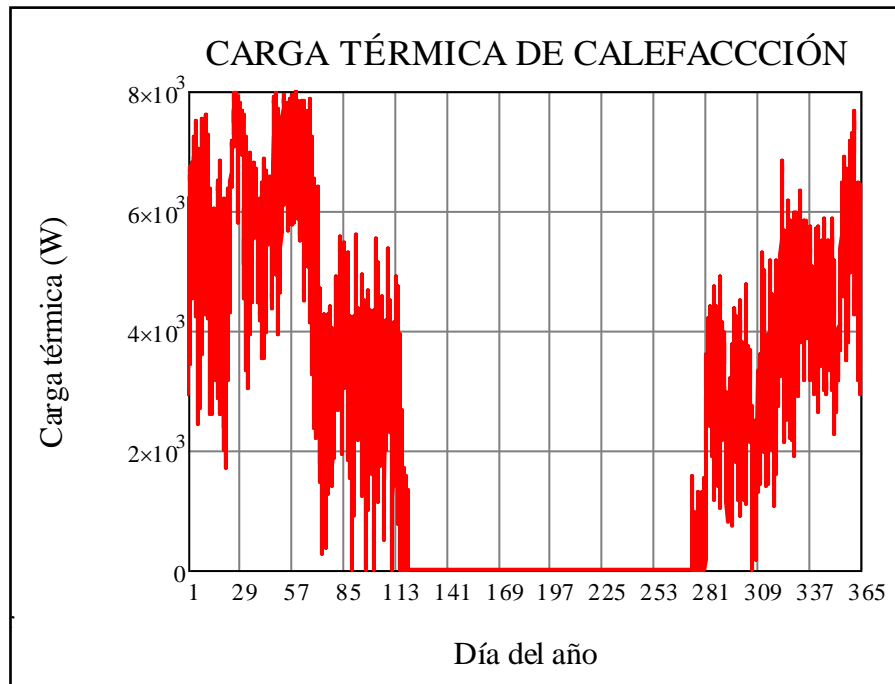


Figura 3.8. Carga térmica de calefacción.

Consideraremos que el equipo de calefacción operará diariamente las 24 horas del día para que la caldera funcione de manera estacionaria.

Además, debemos tener en cuenta el porcentaje de la demanda de ACS que no suministrará la instalación solar y que por tanto deberá cubrir esta instalación. Para ello supondremos que esta carga de ACS se consume cada día del año entre las 8 y las 9 horas y entre las 20 y las 21 horas.

Por tanto, la demanda total de energía a la que tendrá que hacer frente la caldera se muestra en la siguiente figura.

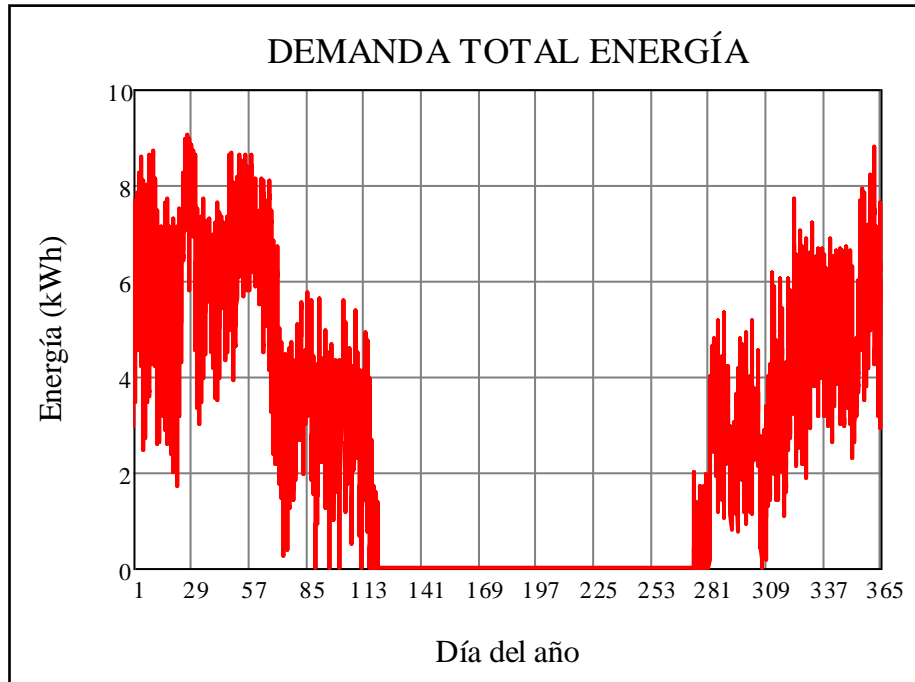


Figura 3.9. Demanda total de energía para calefacción y ACS.

Para hacer frente a esta demanda térmica instalaremos una caldera de pellets Viessmann modelo Vitoligno 300-P con un margen de potencia nominal de 4 a 12 kW, cuya hoja de características puede consultarse en los anexos del presente proyecto.

Finalmente, teniendo en cuenta que el rendimiento de la caldera a carga parcial es del 95,3 %, el consumo energético de la caldera es el que se muestra a continuación.

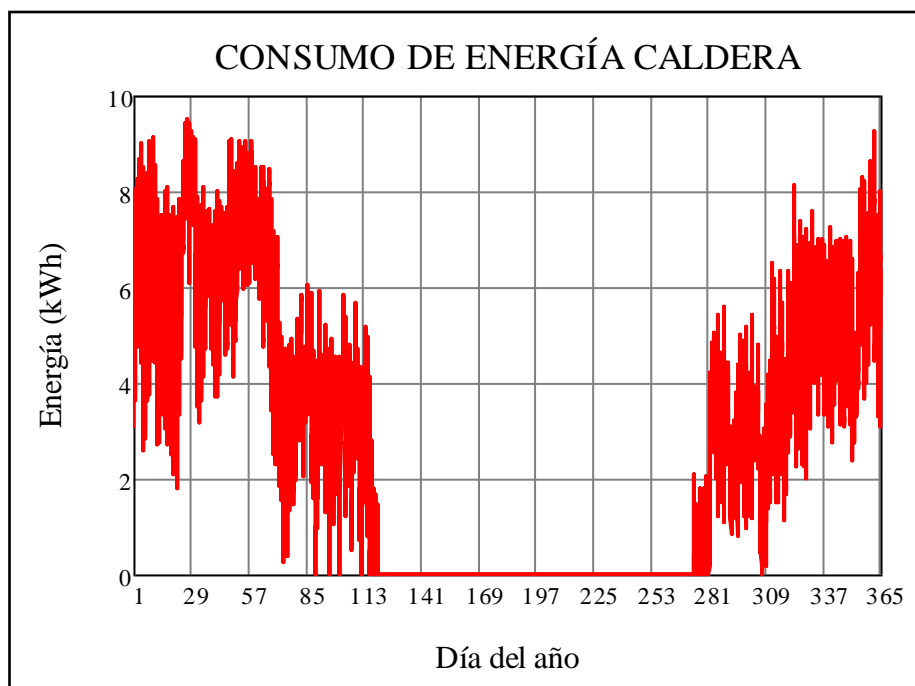


Figura 3.10. Consumo de energía de la caldera Viessmann Vitoligno 300-P.

A partir de la gráfica anterior podemos obtener la potencia máxima que debe tener la caldera y la energía total consumida en todo el período de calefacción.

$$P_{max} = 9,49 \text{ kW}$$

$$E_{consumida} = 22,44 \text{ MWh}$$

Vemos que la caldera seleccionada presenta un margen de potencia adecuado para esta aplicación.

Por último analizaremos el consumo de pellets de la caldera a lo largo del año. Conociendo el contenido energético de los pellets, resulta sencillo obtener el consumo de la caldera.

$$PCI_{pellet} = 18 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 5 \frac{\text{kWh}}{\text{kg}}$$

$$\text{Consumo} = \frac{E_{consumida}}{PCI}$$

Así, el consumo de pellets de la caldera a lo largo del año se muestra en la siguiente figura.

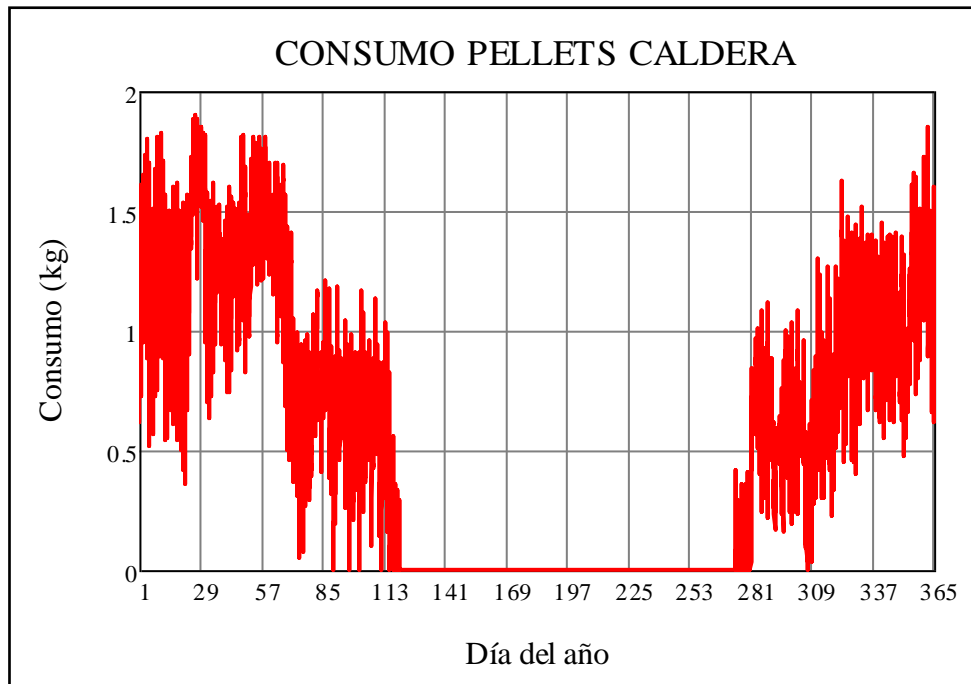


Figura 3.11. Consumo de pellets de la caldera Viessmann Vitoligno 300-P.

Por lo que obtenemos un consumo total de pellets al año de:

$$C_T = 4,488 \text{ tm}$$

3.4.- EQUIPO DE COMPRESIÓN MECÁNICA PARA REFRIGERAR EL EDIFICIO

3.4.1.- FUNCIONAMIENTO Y COMPONENTES DE UN EQUIPO DE COMPRESIÓN MECÁNICA

La carga térmica de refrigeración calculada en el capítulo anterior será cubierta por un equipo de compresión mecánica, y el objetivo en este capítulo será obtener el consumo eléctrico de dicho equipo. Para determinarlo, haremos uso de un modelo matemático de su comportamiento.

Una máquina frigorífica por compresión tiene por cometido desplazar energía térmica en forma de calor entre dos puntos, desde un foco a baja temperatura (el interior de la vivienda) a otro a mayor temperatura (el ambiente). El esquema de su funcionamiento puede observarse en la siguiente figura.

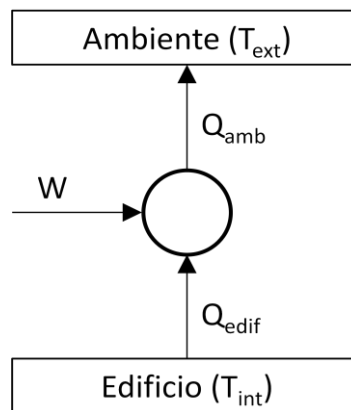


Figura 3.12. Esquema básico de funcionamiento del equipo de compresión mecánica.

Para poder evaluar el comportamiento de estos equipos se define el concepto de COP (Coefficient of Performance) en refrigeración, sinónimo de eficiencia energética, como la relación entre la cantidad de refrigeración obtenida y la cantidad de energía que se requiere aportar para conseguir esta refrigeración.

$$COP = \frac{Q_{edif}}{W} = \frac{Q_{edif}}{Q_{amb} - Q_{edif}}$$

Podemos obtener el máximo COP que idealmente se podría obtener a partir de las temperaturas de los focos.

$$COP_{ideal} = \frac{T_{edif}}{T_{amb} - T_{edif}}$$

Con lo que obtenemos la evolución de este COP a lo largo del año, ya que conocemos la distribución de la temperatura ambiente durante el año.

La refrigeración por compresión se logra evaporando un gas refrigerante en estado líquido a través de un intercambiador de calor, denominado evaporador. Al evaporarse el líquido refrigerante, absorbe energía térmica del medio (carga térmica). Después, un compresor mecánico aumenta la presión del vapor para poder condensarlo dentro de otro intercambiador de calor, denominado condensador, y hacerlo líquido de nuevo cediendo calor al medio. De esta manera, el refrigerante en estado líquido puede evaporarse nuevamente a través de la válvula de expansión y repetir el ciclo de refrigeración por compresión. Por lo tanto, situando el evaporador en el interior de la vivienda y el condensador en el exterior de la misma, lograremos transferir calor del interior al exterior. Este ciclo se esquematiza en la siguiente figura.

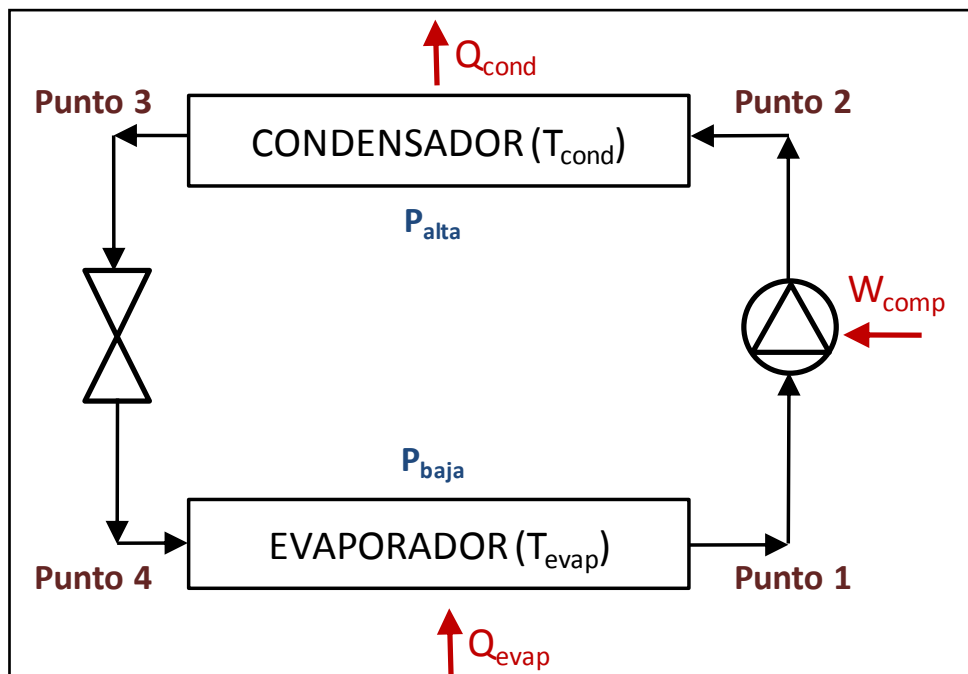


Figura 3.13. Esquema de componentes y funcionamiento del equipo de compresión mecánica.

Para entender mejor el funcionamiento de estos equipos de compresión mecánica vamos a situar los cuatro puntos del esquema anterior en un diagrama P-h.

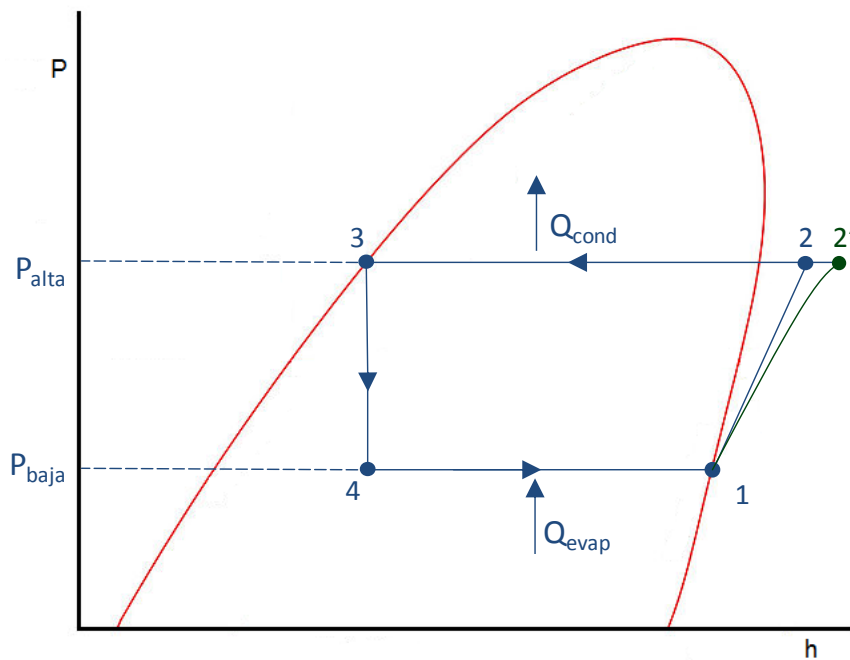


Figura 3.14. Diagrama P-h del ciclo de compresión mecánica.

En la figura anterior se observa que en el equipo existen dos zonas de presión, una de presión alta entre el compresor y la entrada de la válvula, y otra de presión baja que se encuentra entre la salida de la válvula y la entrada del compresor. Así es como una máquina de refrigeración por compresión mecánica desplaza la energía entre dos focos, creando zonas de alta y baja presión confinadas en intercambiadores de calor, mientras que los procesos de intercambio de energía se producen cuando el fluido refrigerante cambia de estado, de líquido a vapor, y viceversa.

3.4.2.- DIMENSIONAMIENTO DEL EQUIPO DE COMPRESIÓN MECÁNICA

Una vez conocidos los componentes que forman el equipo de refrigeración, podemos expresar el COP definido anteriormente en función de las temperaturas de evaporación y condensación de la siguiente forma.

$$COP_{ideal} = \frac{Q_{evap}}{W_C} = \frac{Q_{evap}}{Q_{cond} - Q_{evap}} = \frac{T_{evap}}{T_{cond} - T_{evap}}$$

Para poder aplicar la ecuación anterior, necesitamos fijar unas temperaturas de evaporación y condensación del refrigerante. Tomaremos las siguientes temperaturas de evaporación y de condensación.

$$T_{evap} = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{cond} = 55\text{ }^{\circ}\text{C}$$

De esta forma, podemos obtener la evolución del COP ideal a lo largo del período de refrigeración. En cuanto a los flujos de calor, el flujo de energía en el evaporador Q_{evap} se corresponde con la carga térmica de refrigeración calculada en el capítulo anterior. Conociendo este valor, podemos obtener el consumo de energía del compresor con la siguiente expresión.

$$W_C = \frac{Q_{evap}}{COP_{ideal}}$$

Y con este valor, obtenemos el flujo de energía en el condensador a partir de la siguiente expresión.

$$Q_{cond} = Q_{evap} + W_C$$

Al igual que hicimos con la instalación de calefacción, consideraremos que el equipo de refrigeración operará diariamente las 24 horas del día, trabajando de esta forma de manera estacionaria.

Así, obtenemos los siguientes flujos de energía en los distintos componentes.

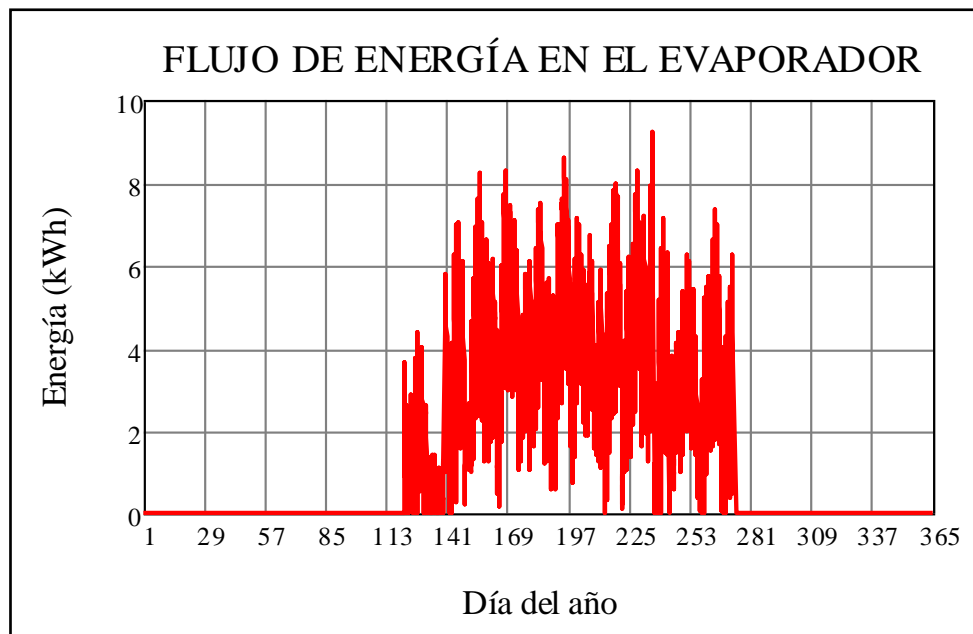


Figura 3.15. Evolución anual del flujo de energía en el evaporador.

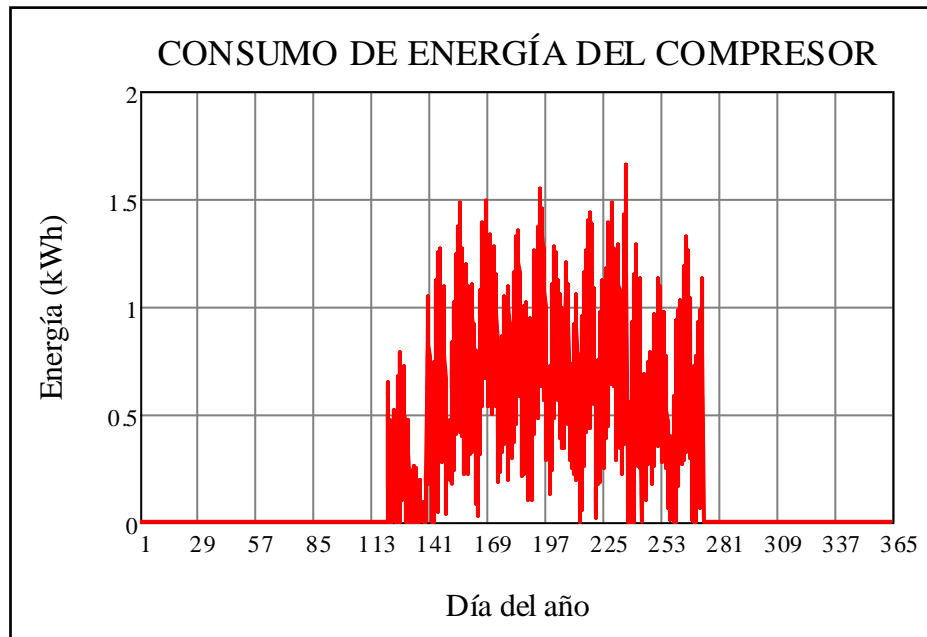


Figura 3.16. Evolución anual del consumo de energía del compresor.

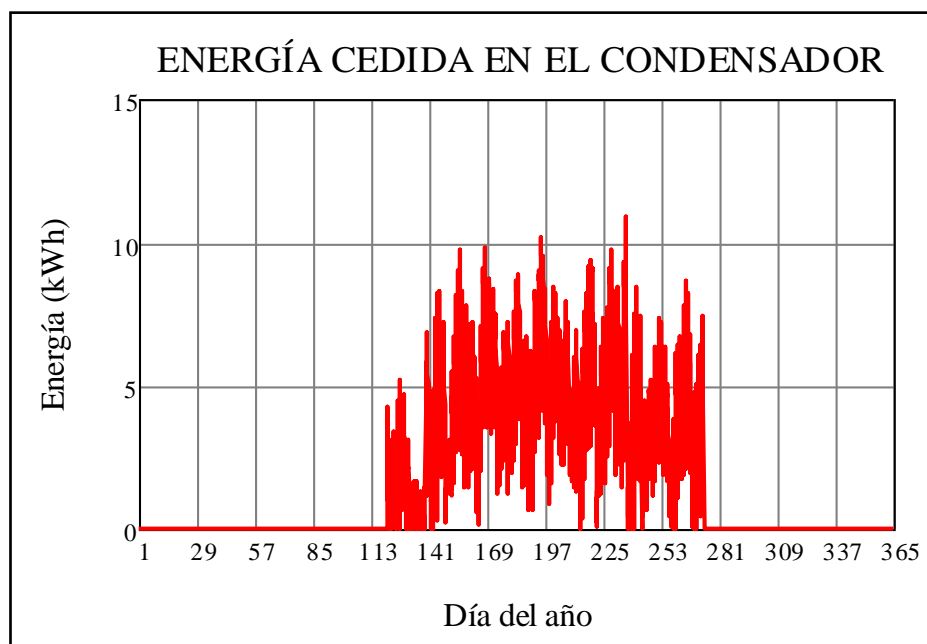


Figura 3.17. Evolución anual del flujo de energía en el condensador.

Por último, necesitamos obtener la energía eléctrica que se necesitará suministrar para cubrir la demanda energética de este equipo. Para ello, obtendremos primero un coeficiente de operación eléctrico, teniendo en cuenta:

- Rendimiento isoentrópico: la compresión del refrigerante mostrada en el ciclo anterior no es isoentrópica. Para tener en cuenta este efecto definimos el rendimiento indicado como el cociente entre el trabajo necesario para realizar una compresión isoentrópica y el necesario para realizar una compresión real. Supondremos un rendimiento

isoentrópico del 85 %. De esta forma, podemos definir un COP isoentrópico como el cociente entre el COP ideal obtenido anteriormente y el rendimiento isoentrópico.

$$\eta_s = \frac{W_{C_s}}{W_C} \quad COP_s = COP \cdot \eta_s$$

- Rendimiento indicado: el ciclo que realiza el refrigerante a su paso por todos los componentes no se corresponde con el teórico mostrado anteriormente sino que presenta pequeñas desviaciones del mismo. Es por este motivo por el que definimos el rendimiento indicado, como el cociente entre el trabajo absorbido por el fluido y potencia aportada por los álabes del compresor. Estimaremos este rendimiento en un 90 %. Así, podemos definir un COP indicado como el producto del COP isoentrópico y el rendimiento indicado.

$$\eta_i = \frac{W_C}{W_{C_i}} \quad COP_i = COP \cdot \eta_s \cdot \eta_i$$

- Rendimiento mecánico: no toda la potencia comunicada al eje del compresor es transferida a los álabes del compresor. Para tener esto en cuenta, definimos el rendimiento mecánico como el cociente entre la potencia que aportan los álabes del compresor y la potencia mecánica aportada en el eje del compresor. Estimaremos este rendimiento en un 95 %. De esta forma, definimos un COP mecánico como el producto del COP indicado y el rendimiento mecánico.

$$\eta_m = \frac{W_{C_i}}{W_{C_m}} \quad COP_m = COP \cdot \eta_s \cdot \eta_i \cdot \eta_m$$

- Rendimiento eléctrico: dado que el compresor estará movido por un motor eléctrico, debemos tener en cuenta también el rendimiento eléctrico de dicho motor, es decir, que porcentaje de la potencia consumida de la red es finalmente aportada al eje del compresor. Estimaremos un rendimiento para este motor del 87 %. Así obtenemos un COP eléctrico como producto del COP mecánico y el rendimiento del motor eléctrico.

$$\eta_e = \frac{W_{C_m}}{W_{C_e}} \quad COP_e = COP \cdot \eta_s \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_e$$

Finalmente, obtenemos un COP eléctrico máximo de 3,515. Consultando catálogos de equipos de refrigeración por compresión mecánica, vemos que proporcionan un Coeficiente de Eficiencia Energética que se encuentra entre 3,31 y 4,54, por lo que el valor obtenido parece cercano a la realidad y podemos tomarlo como válido.

Por último, obtendremos el consumo eléctrico que tendrá el equipo de refrigeración a partir de la siguiente expresión.

$$W_e = \frac{W_c}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_e \cdot \eta_s}$$

La evolución de este consumo eléctrico del equipo de refrigeración se muestra en la siguiente figura.

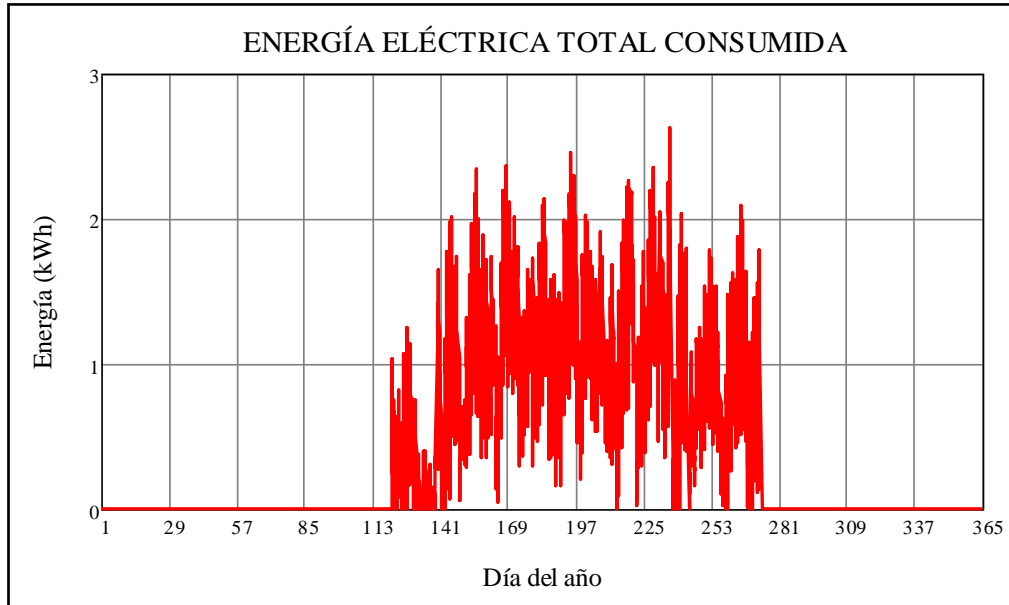


Figura 3.18. Evolución de la energía eléctrica total consumida por el equipo de refrigeración.

Por lo que obtenemos un consumo total de energía eléctrica en el período de refrigeración de:

$$E_{eT} = 3,394 \text{ MWh}$$

Esta energía eléctrica, junto con la demanda de electricidad de la vivienda obtenida en el capítulo anterior, será producida con la instalación solar fotovoltaica que a continuación se describe.

3.5.- INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

3.5.1.- FUNCIONAMIENTO Y COMPONENTES DE UNA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Una instalación fotovoltaica conectada a la red eléctrica está formada principalmente por los siguientes componentes:

- Panel solar o módulo fotovoltaico: está formado por un conjunto de células solares encapsuladas, conectadas eléctricamente y montadas sobre una estructura soporte o marco. Es el elemento principal de la instalación, pues se encargan de captar la

radiación solar y transformarla en energía eléctrica. Su funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico.

- Inversor: se trata de un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a la red, ya que los paneles solares fotovoltaicos generan corriente continua, de manera que para entregar esta energía a la red es necesario tratarla. El inversor convierte esta energía generada en corriente continua a corriente alterna con una frecuencia de 50 Hz y unos valores de tensión determinados, apta para inyectarse en la red de suministro.
- Equipos de medida: al tratarse de una instalación conectada a la red, no necesitaremos almacenar energía, sino que la energía que producimos se inyecta a la red eléctrica. Por este motivo, este tipo de instalaciones cuentan con dos contadores: uno para la energía que producimos y que se vende a la red eléctrica, y otro para el consumo propio de la vivienda.
- Protecciones: serán necesarias tanto en la fase de corriente continua (protecciones de continua), desde los paneles solares hasta la entrada del inversor, como en la fase de corriente alterna, desde el inversor hasta el punto de conexión de la red de suministro.

De esta forma, el funcionamiento y componentes principales de una instalación solar fotovoltaica conectada a la red se puede observar en el siguiente esquema.

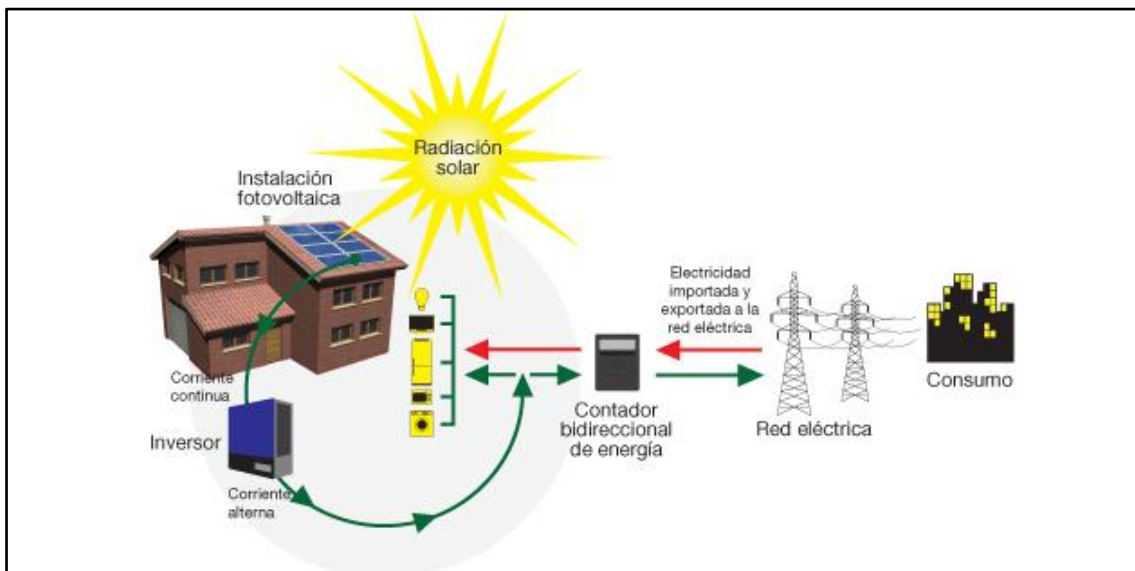


Figura 3.19. Esquema de una instalación fotovoltaica conectada a la red.

En la figura anterior vemos como la radiación solar es captada por los módulos fotovoltaicos y convertida en energía eléctrica en corriente continua. Esta corriente es convertida a corriente alterna y adaptada para inyectarse en la red eléctrica. Por otro lado, la electricidad que la vivienda demanda la tomará de la red eléctrica. Ambos flujos energéticos pasan a través de un contador de energía para contabilizar la energía vendida y comprada a la red eléctrica.

3.5.2.- MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Antes de comenzar con el dimensionamiento de la instalación, debemos analizar el comportamiento de los módulos fotovoltaicos que vamos a utilizar. Esta instalación fotovoltaica contará con unos módulos de alto rendimiento fotovoltaicos policristalinos, modelo KD70SX-1P, de la compañía Kyocera. Las hojas de características de estos módulos se pueden consultar en los Anexos del proyecto.

Para modelizar el comportamiento de los módulos fotovoltaicos emplearemos las curvas características de tensión y corriente proporcionadas por el fabricante. Estas curvas características de tensión y corriente varían fundamentalmente con dos parámetros, la temperatura de las células, y la radiación incidente. Estas curvas pueden observarse en las siguientes figuras.

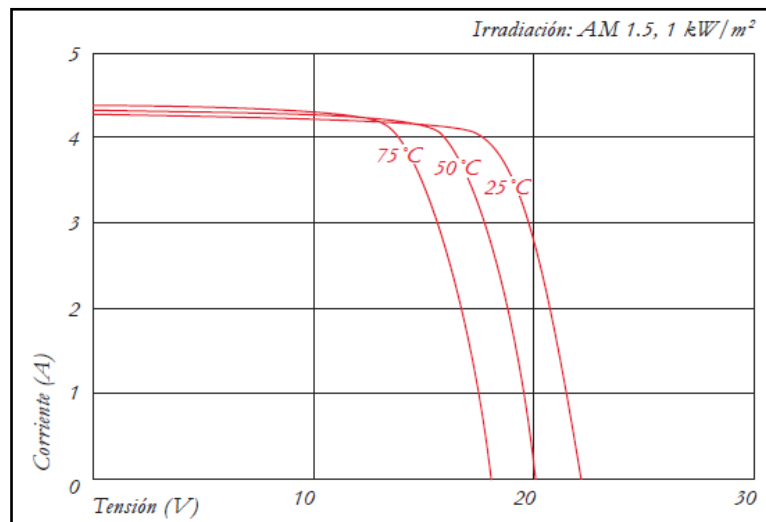


Figura 3.20. Curva característica de tensión y corriente a distintas temperaturas de la célula.

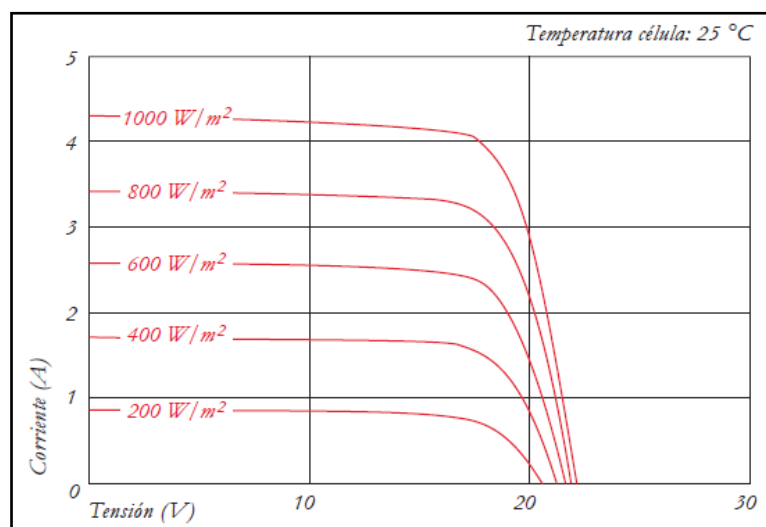


Figura 3.21. Curva característica de tensión y corriente con distinta irradiación.

El rendimiento o eficiencia en la conversión de energía de una célula solar es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la irradiación solar que llega a la celda. Esta eficiencia o rendimiento de la célula fotovoltaica se puede obtener a partir de la siguiente expresión.

$$\eta = \frac{P_{gen}}{G \cdot A}$$

Donde:

P_{gen} : Potencia generada en el punto de potencia máxima (W).

G : Irradiación solar sobre la superficie inclinada de la célula (W/m^2).

A : Área de la célula (m^2).

El punto de potencia máxima en el cuál funcionarán las células lo podemos obtener a partir de las curvas características anteriores, multiplicando la intensidad por la tensión de este punto de máxima potencia, tal y como se muestra en la siguiente figura.

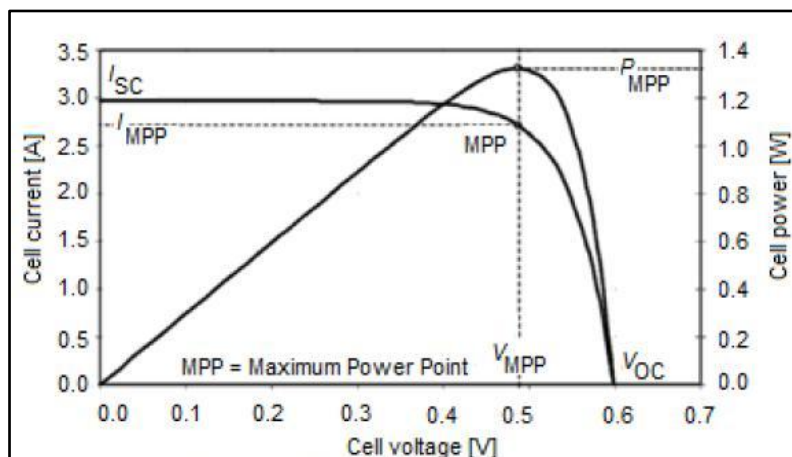


Figura 3.22. Curva teórica de una célula fotovoltaica.

De esta forma, atendiendo a las curvas características anteriores vemos cómo este punto de máxima potencia generada disminuye sensiblemente al caer la radiación solar y al incrementarse la temperatura de célula. Por lo tanto, debemos analizar si el rendimiento de la célula variará también con la temperatura de célula y la irradiación.

Para ello, tomaremos los puntos de máxima potencia de cada una de las curvas características anteriores y obtendremos el rendimiento para cada uno de estos puntos. De esta forma podemos representar la variación del rendimiento de la célula con la temperatura de la célula y con la irradiación. Estos gráficos se muestran a continuación.

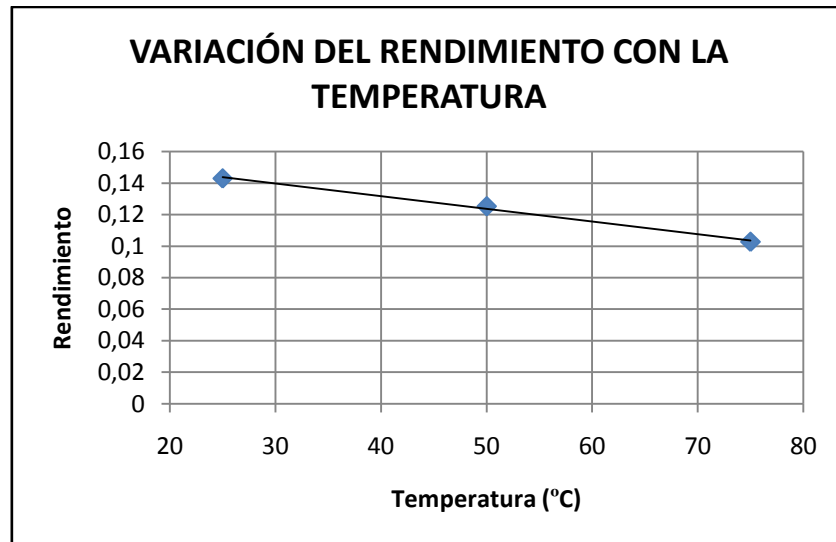


Figura 3.23. Variación del rendimiento con la temperatura de la célula.

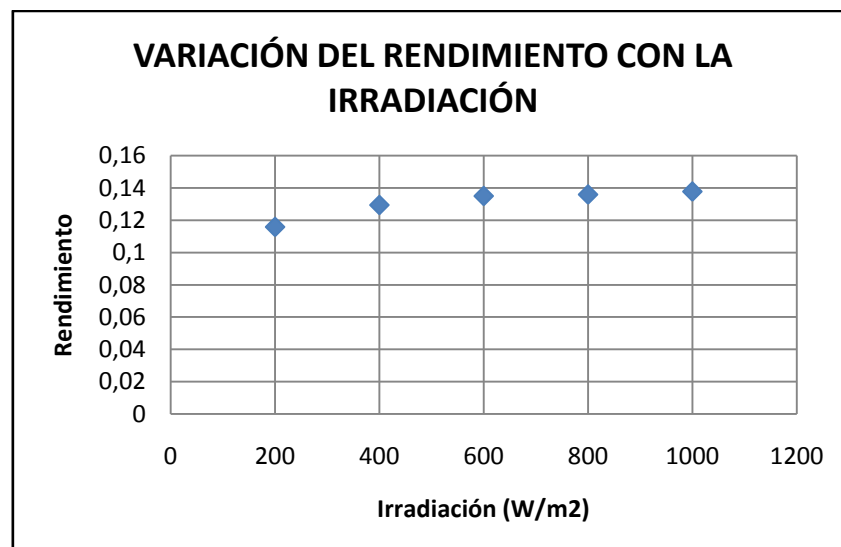


Figura 3.24. Variación del rendimiento con la irradiación solar sobre la célula.

En la figura 3.24 vemos como la influencia de la temperatura en la célula fotovoltaica puede modelizarse mediante la ecuación de una recta. La ecuación de esta recta es la siguiente.

$$\eta(T_{cel}) = -0.0008T_{cel} + 0.164$$

En la figura 3.25 vemos que la irradiación apenas tiene influencia en el rendimiento de la célula. Por lo tanto, consideraremos únicamente la dependencia del rendimiento con la temperatura de la célula.

Conocida la dependencia del rendimiento con la temperatura de célula descrita a través de la ecuación anterior, necesitamos obtener la temperatura de célula para obtener el rendimiento, y con éste, obtener finalmente la potencia generada por el módulo, pues conocemos su área ($0,51348 \text{ m}^2$) y la irradiación solar sobre él para cada hora del año.

La temperatura de la célula depende de la irradiación, y puede obtenerse a partir de la siguiente expresión.

$$T_{cel} = T_a + \frac{T_{TONC} - T_{a,TONC}}{I_{TONC}} G$$

Donde:

T_{cel} : Temperatura de la célula (°C).

T_a : Temperatura ambiente (°C).

G : Irradiación sobre la superficie inclinada de la célula (W/m^2).

TONC hace referencia a la temperatura que alcanzaría la célula operando en unas determinadas condiciones estándar de referencia: ángulo de inclinación de 45° respecto a la horizontal, irradiancia de 800 W/m^2 (I_{TONC}), temperatura ambiente de 20°C ($T_{a,TONC}$), velocidad del viento de 1 m/s y carga eléctrica nula.

Así, obtenemos la siguiente evolución de la temperatura de la célula a lo largo del año.

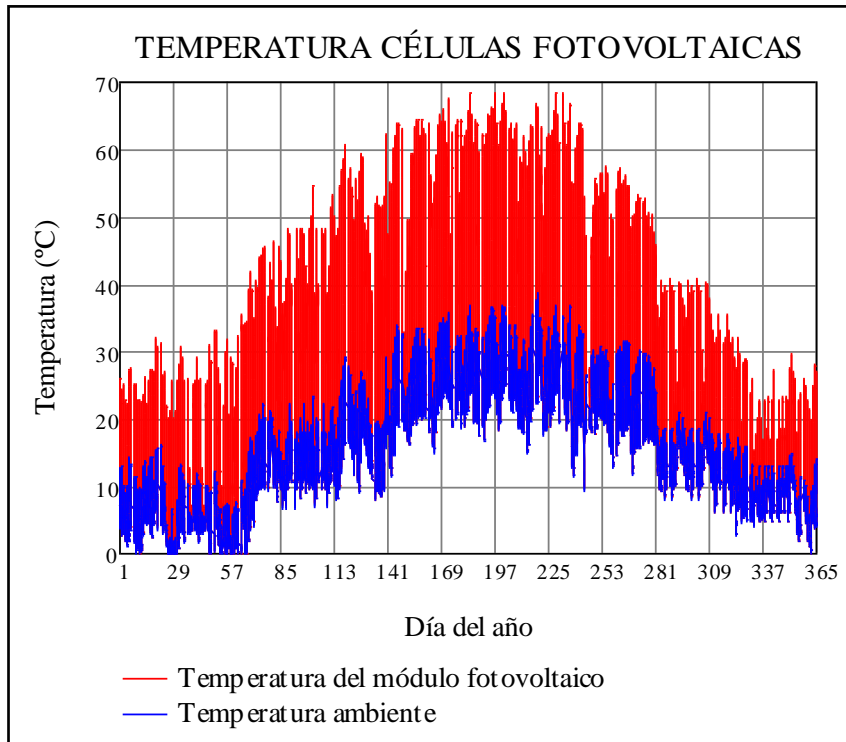


Figura 3.25. Evolución anual de la temperatura de las células fotovoltaicas.

Conocida la temperatura de la célula, podemos obtener la variación anual del rendimiento de la célula fotovoltaica aplicando la ecuación obtenida anteriormente. Los resultados obtenidos se muestran a continuación.

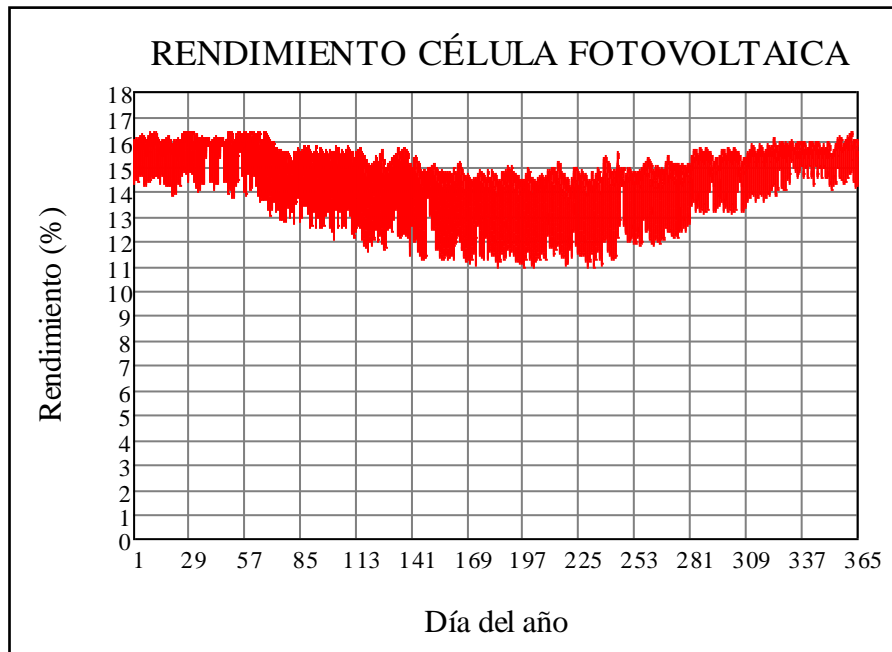


Figura 3.26. Evolución anual del rendimiento de las células fotovoltaicas.

Finalmente, obtenemos la potencia generada por cada módulo fotovoltaico a partir de la siguiente expresión.

$$P_{gen} = \eta \cdot G \cdot A$$

Así, obtenemos la siguiente evolución anual de la energía generada.

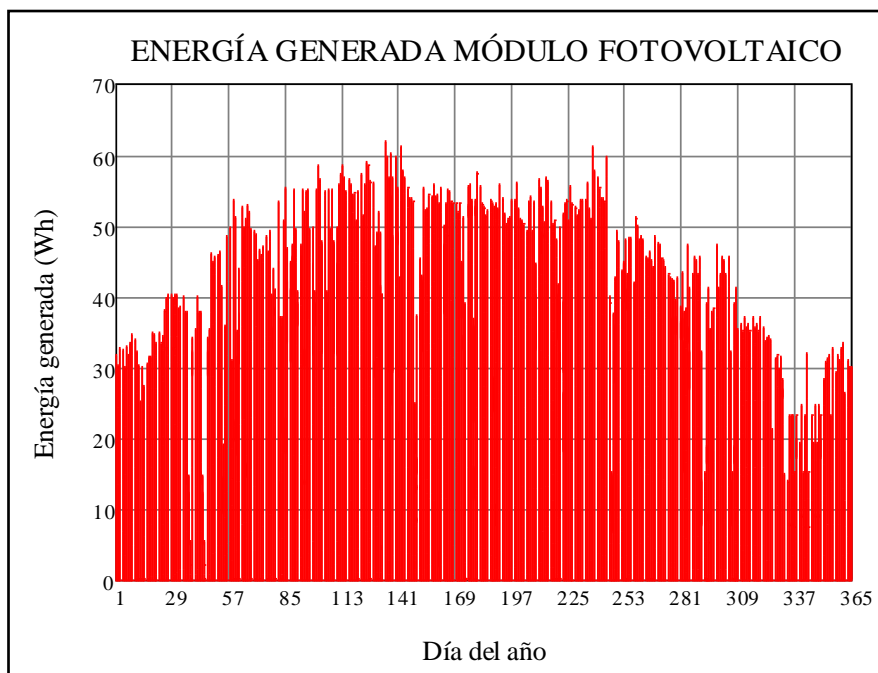


Figura 3.27. Evolución anual de la energía generada por el módulo fotovoltaico.

3.5.3.- INVERSOR FOTOVOLTAICO

Como se ha explicado anteriormente, la función del inversor es convertir la corriente continua generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna apta para ser inyectada en la red eléctrica.

Para obtener finalmente la energía que vamos a inyectar a la red es necesario tener en cuenta el rendimiento de este inversor. El inversor que vamos a emplear en nuestra instalación será un modelo de la serie Sunny Boy de la compañía SMA Solar Technology, cuyas hojas de características se encuentran en el Anexo de este proyecto. El rendimiento del inversor depende fundamentalmente de la potencia de salida expresada en tanto por ciento de la potencia nominal. La curva de rendimiento de estos inversores se muestra a continuación.

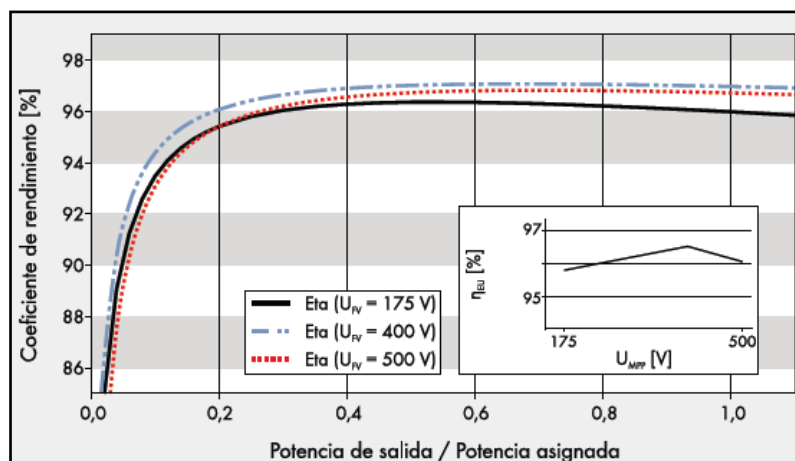


Figura 3.28. Rendimiento del inversor.

No podemos aún seleccionar el modelo de inversor que necesitamos, pues para ello necesitamos conocer la potencia asignada, valor que obtendremos tras el dimensionado de la instalación. Sin embargo, sí podemos tomar un valor para el rendimiento del inversor del 96 %, pues el rendimiento de todos los modelos está en torno a este valor.

Conocido el rendimiento del inversor, obtenemos energía neta que inyectaremos a la red multiplicando la energía generada por el módulo fotovoltaico obtenida anteriormente por el rendimiento del inversor. La evolución anual de la energía inyectada a la red por cada módulo fotovoltaico se observa en la siguiente figura.

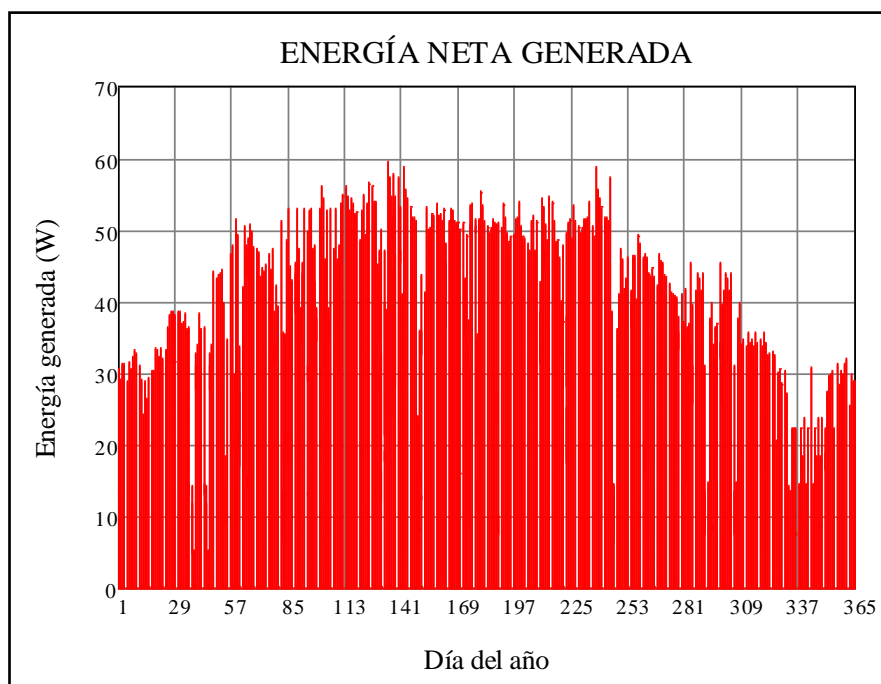


Figura 3.29. Evolución anual de la energía inyectada a la red por cada módulo fotovoltaico.

Podemos obtener también la evolución a lo largo de varios días representativos del año de la energía inyectada a la red por cada modulo fotovoltaico. Los resultados se muestran a continuación.

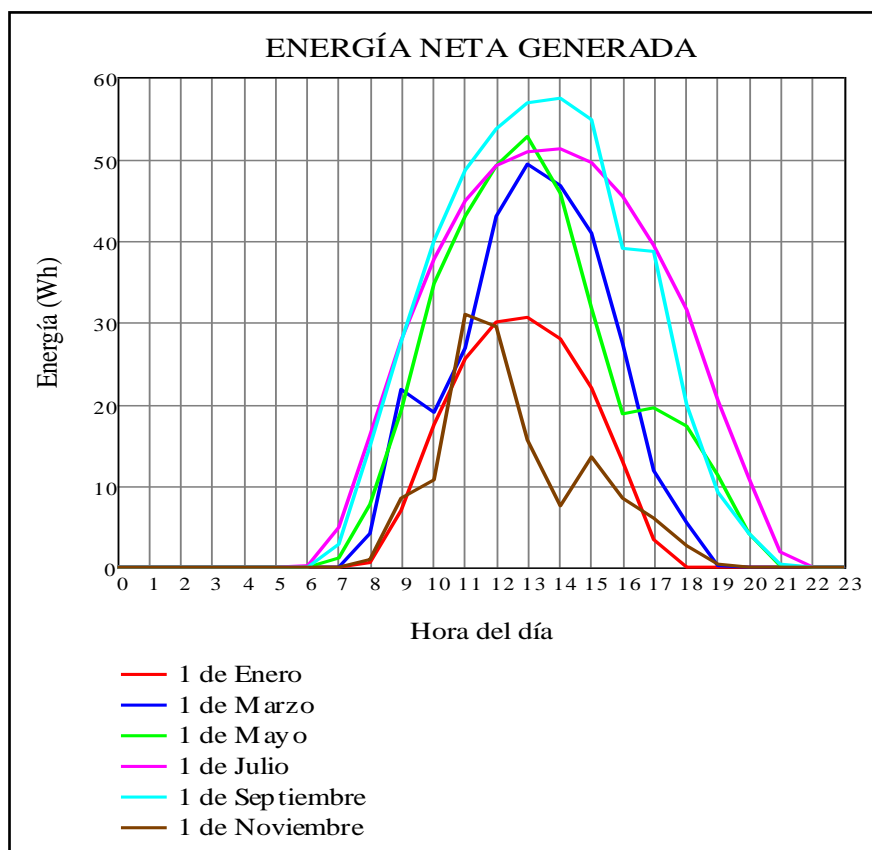


Figura 3.30. Evolución diaria de la energía neta generada por cada modulo para varios días.

En la figura anterior vemos como la energía captada por el módulo es claramente superior en los meses de verano.

3.5.4.- DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

Nuestro objetivo en este apartado será el de obtener el número de módulos fotovoltaicos que precisa tener la instalación para poder hacer frente a la demanda de electricidad de la vivienda y a la demanda de electricidad del sistema de refrigeración mecánica.

Comenzaremos obteniendo la energía neta que obtiene cada módulo fotovoltaico en cada mes del año.

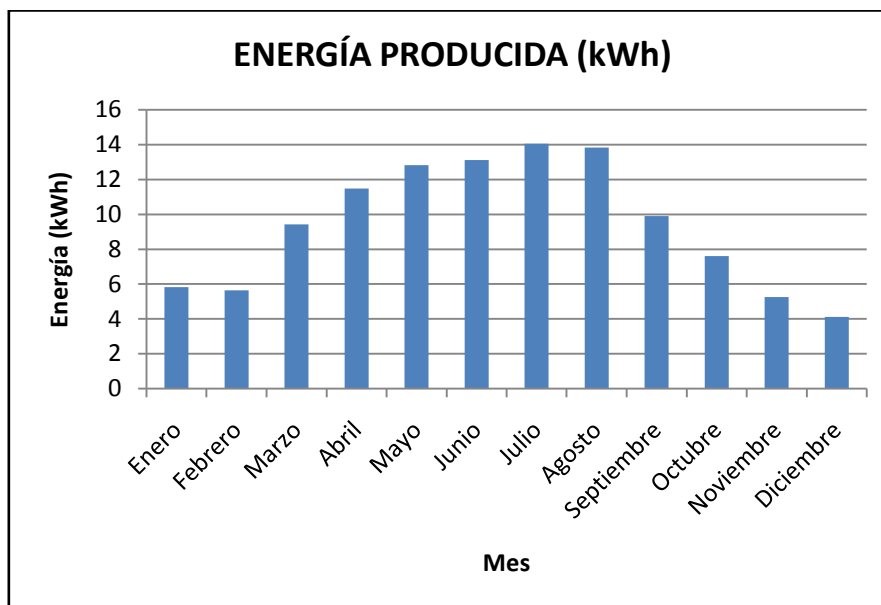


Figura 3.31. Distribución mensual de la energía neta producida por cada módulo.

Obteniendo una energía total producida por cada módulo a lo largo de todo el año de 113,085 kWh.

Por otro lado, conocemos también la demanda de electricidad correspondiente a la consumida en la vivienda por los usuarios y a la consumida por el equipo de refrigeración mecánico.

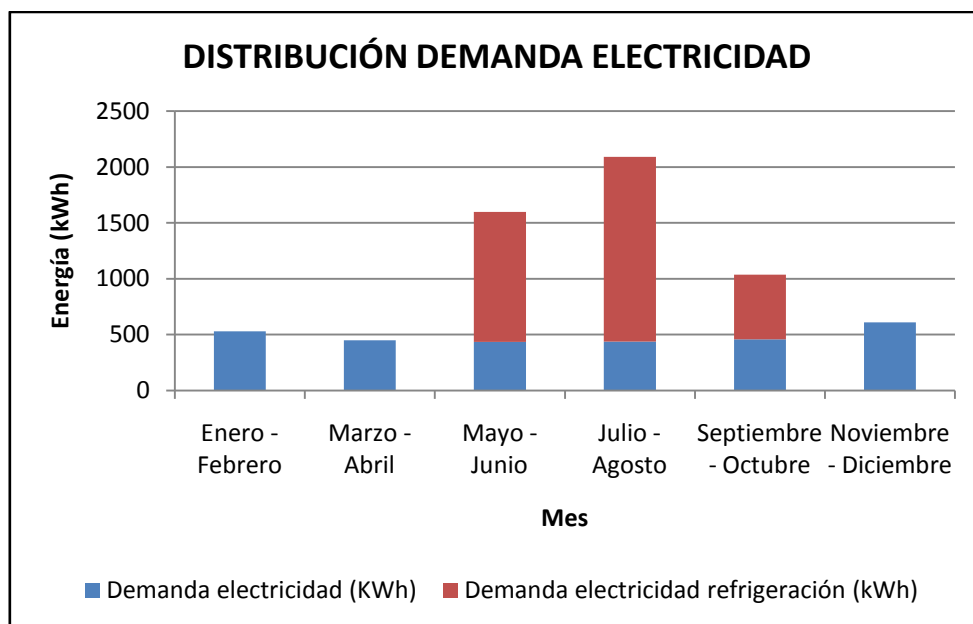


Figura 3.32. Distribución de la demanda de electricidad a lo largo del año.

Por lo que tenemos una demanda total de energía eléctrica a lo largo del año de 6,314 MWh.

Conociendo la demanda total de energía eléctrica y la energía total que genera un módulo, obtenemos que nuestra instalación precisará de 56 módulos para hacer frente a toda la demanda. Por lo tanto, la evolución de la energía eléctrica generada por nuestra instalación se muestra a continuación.

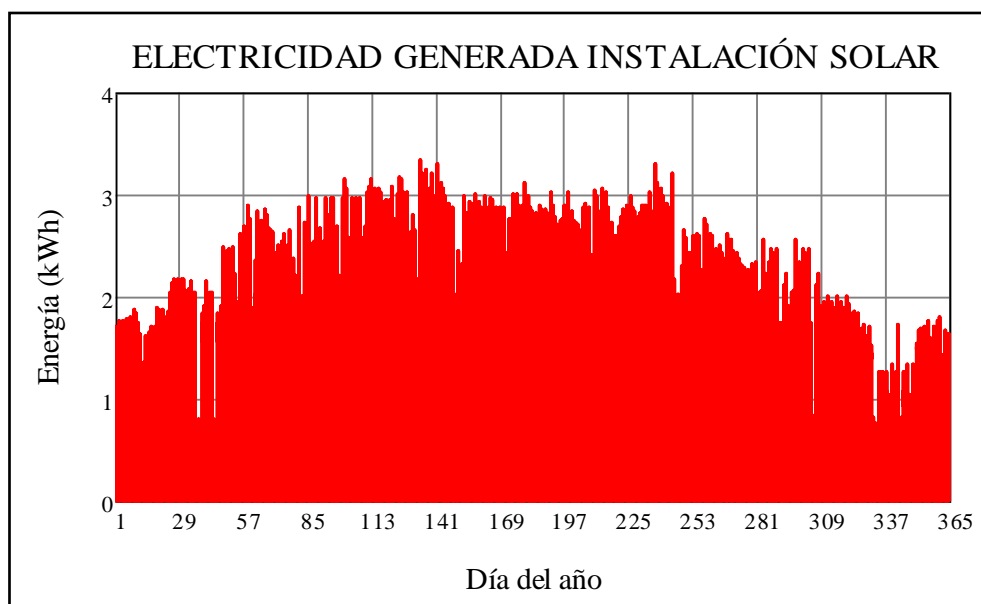


Figura 3.33. Evolución de la energía total generada por la instalación fotovoltaica.

Con lo que obtenemos una energía total generada por la instalación a lo largo del año de 6,33 MWh. Los módulos empleados, KD70SX-1P, tienen una superficie útil de captación de 0,51348 m² y una potencia pico de 70 W, por lo que la instalación tendrá una superficie útil de

captación de 28,755 m² y una potencia pico total de 3,920 KW, siendo esta potencia pico inferior a la requerida en nuestra instalación, como se observa en la figura anterior. A partir de estos datos, ya estamos en condiciones para decidir el modelo de inversor de la serie Sunny Boy que necesitamos. Dada la potencia pico de la instalación, seleccionaremos el modelo 4000TL, pues cuenta con una potencia máxima de entrada de 4200 W. Las características de este modelo se pueden observar en los anexos de este proyecto.

Por último, dado que la vivienda no se abastecerá de esta energía generada por la instalación sino que esta energía se inyectará a la red y la vivienda tomará la energía de la red, no es necesario que la demanda y la producción se ajusten mes a mes, sino que la instalación cubrirá la demanda total anual de electricidad, pero produciendo más de lo que se necesita en los meses de invierno y menos en los de verano. Esto se muestra gráficamente en la siguiente figura.

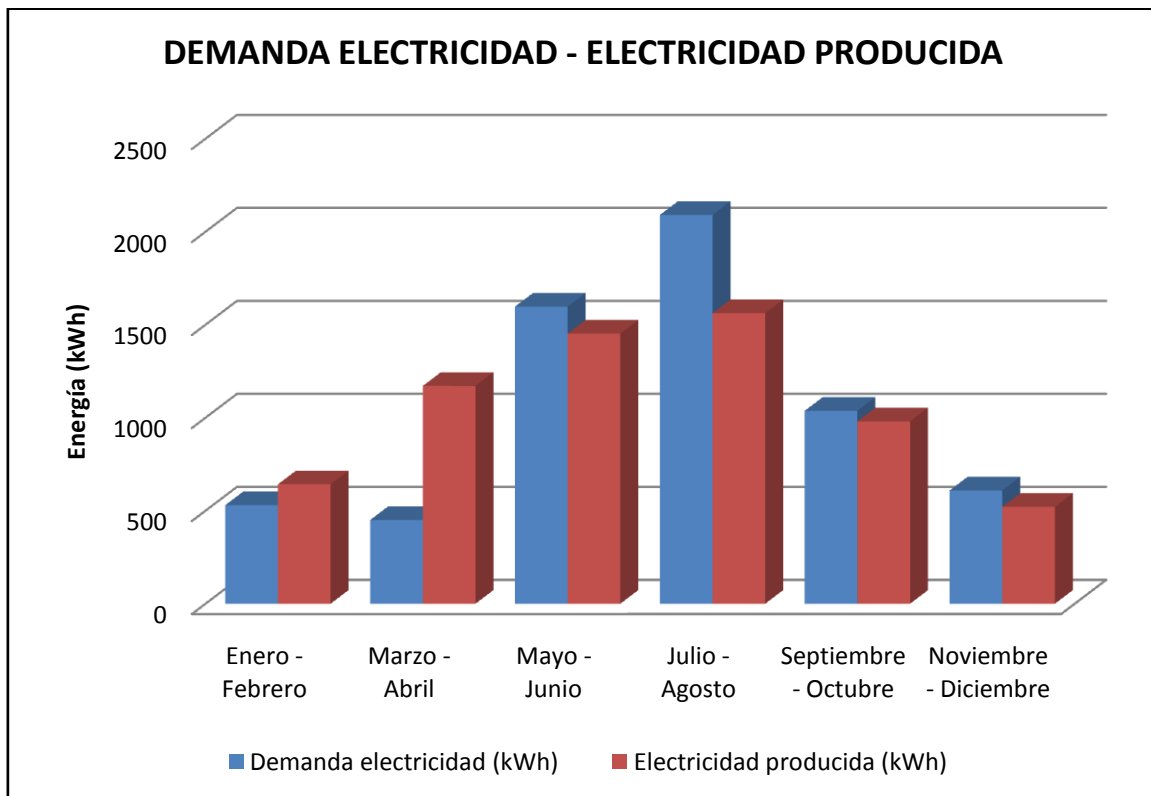


Figura 3.34. Demanda y producción de electricidad a lo largo del año.

4.- ANÁLISIS AMBIENTAL Y ECONÓMICO

4.1.- INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente capítulo es analizar, desde un punto de vista ambiental y económico, las distintas instalaciones implementadas en este proyecto.

Comenzaremos valorando las instalaciones descritas en el capítulo anterior desde el punto de vista medioambiental. Para ello calcularemos la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que se consigue con la utilización de las instalaciones térmicas descritas en el capítulo anterior, frente a las emisiones que produciría una instalación convencional.

Posteriormente realizaremos una valoración económica de dichas instalaciones, para lo cual determinaremos el ahorro de combustibles fósiles obtenido frente a una instalación convencional, así como la rentabilidad de las inversiones que es necesario llevar a cabo durante la vida útil de las instalaciones.

4.2.- ANÁLISIS AMBIENTAL

4.2.1.- POTENCIAL DE EFECTO INVERNADERO

El objetivo de este análisis ambiental será obtener la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero lograda con el uso de las instalaciones descritas en el capítulo anterior a lo largo de su vida útil. Para ello determinaremos el Potencial de Efecto Invernadero de cada una de las instalaciones, el cual viene dado por la siguiente expresión.

$$PEI = E_{cons} \cdot E_{comb} \cdot N$$

Donde:

- PEI : Potencial de efecto invernadero (tn-eq CO_2).
- E_{cons} : Energía consumida por la instalación en un año (kWh/año).
- E_{comb} : Factor de emisión del combustible (kg-eq CO_2 /kWh). Factor de emisión de los principales combustibles:

$$\begin{aligned} E_{GN} &= 0,22 \frac{kg \ CO_2 \ eq}{kWh} & E_{GLP} &= 0,235 \frac{kg \ CO_2 \ eq}{kWh} \\ E_{Gasoleo} &= 0,269 \frac{kg \ CO_2 \ eq}{kWh} & E_{Carbon} &= 0,402 \frac{kg \ CO_2 \ eq}{kWh} \end{aligned}$$

- N : número de años de funcionamiento de la instalación (año).

Puede tenerse en cuenta también un potencial de efecto invernadero adicional derivado de la producción e instalación de los componentes de las instalaciones solares proyectadas, así como de la producción de la biomasa, derivado del empleo de combustibles fósiles. En el cálculo que sigue, se despreciarán estas emisiones asociadas por considerarse muy inferiores en comparación con las emisiones derivadas del consumo de combustibles fósiles en una instalación convencional.

4.2.2.- INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

En este apartado calcularemos la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que supone la instalación fotovoltaica diseñada para cubrir la demanda de electricidad de la vivienda así como la energía eléctrica consumida por el equipo de refrigeración de compresión mecánica.

Para obtener las emisiones de gases de efecto invernadero que produce la vivienda en ausencia de la instalación fotovoltaica, es necesario conocer el factor de emisión con el que cuenta el sistema eléctrico español. Este factor se obtiene a partir de los factores de cada una de las tecnologías de generación de electricidad existentes y su participación en el sistema eléctrico español. Realizando esto, obtenemos el siguiente valor para el factor de emisión de la red eléctrica peninsular.

$$E_{red} = 0,24 \frac{kg CO_2 eq}{kWh}$$

Conocido este valor y la demanda de electricidad anual, obtenemos el potencial de efecto invernadero en ausencia de la instalación fotovoltaica a partir de la siguiente expresión.

$$PEI_{elec} = D_{elec} \cdot E_{red} = 6314 \frac{kWh}{año} \cdot 0,24 \frac{kg CO_2 eq}{kWh} = 1,515 \frac{tm CO_2 eq}{año}$$

De forma análoga, obtenemos el ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero por disponer de la instalación fotovoltaica, a partir de la siguiente expresión.

$$\Delta CO_2 = E_{gen} \cdot E_{red}$$

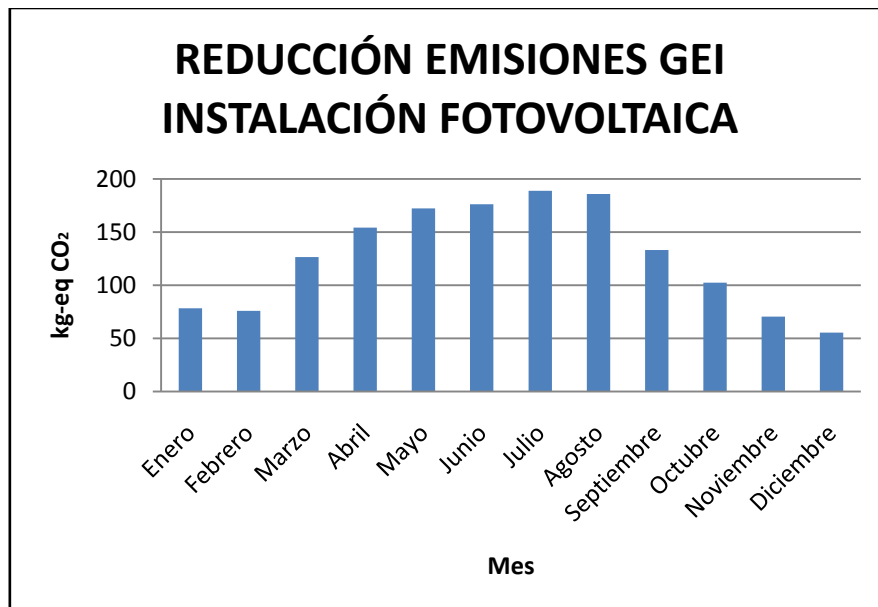


Figura 4.1. Evolución anual de la reducción de emisiones de GEI con la instalación fotovoltaica.

Y por lo tanto, el ahorro anual de emisiones de GEI derivado de la utilización de la instalación fotovoltaica en lugar de la red eléctrica se muestra a continuación.

$$\Delta CO_2 = E_{gen \text{ año}} \cdot E_{red} = 6333 \frac{kWh}{año} \cdot 0,24 \frac{kg \text{ CO}_2 \text{ eq}}{kWh} = 1,52 \frac{tm \text{ CO}_2 \text{ eq}}{año}$$

Suponiendo un período de funcionamiento de la instalación de 25 años, obtenemos un ahorro total de emisiones de GEI de 38 tm de CO₂ equivalentes.

Por último, resulta interesante conocer el ahorro de combustibles fósiles que supone la utilización de la instalación solar fotovoltaica. Para ello, conociendo la estructura de generación del sistema eléctrico peninsular español, podemos obtener el ahorro correspondiente de cada uno de los combustibles fósiles empleados en la generación. Según el informe del sistema eléctrico de 2013 elaborado por Red Eléctrica de España, los combustibles fósiles representan un 24,2 % de la cobertura de la demanda peninsular, considerando únicamente centrales de ciclo combinado (9,6 %) y centrales de carbón (14,6 %). Suponiendo un rendimiento para la central de ciclo combinado del 40 % y un 30 % para la de carbón, obtenemos los siguientes ahorros de ambos combustibles.

$$m_{GN} = \frac{E_{gen \text{ fot}} \cdot 0.096}{0.4 \cdot PCI_{GN}} = 121,594 \frac{kg}{año}$$

$$m_{carbon} = \frac{E_{gen \text{ fot}} \cdot 0.146}{0.3 \cdot PCI_{carbon}} = 443,817 \frac{kg}{año}$$

Lo que equivale a un ahorro de 3,04 tm de gas natural y 11,1 tm de carbón en los 25 años de funcionamiento de la instalación fotovoltaica.

4.2.3.- INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA AGUA CALIENTE SANITARIA

La instalación solar térmica permite la producción de agua caliente sanitaria libre de emisiones de GEI, en comparación con las emisiones derivadas de una instalación convencional formada por una caldera de gas natural ordinaria. Además, el sistema de apoyo con el que cuenta la vivienda es una caldera de pellets, la cual cuenta con unas emisiones de GEI nulas.

Para obtener el Potencial de Efecto Invernadero de la instalación convencional tendremos en cuenta en este apartado únicamente la parte de la demanda que es cubierta por los paneles solares, ya que el resto de la demanda se debe producir con otro sistema (en nuestro caso, la caldera de pellets).

$$\begin{cases} Q_{dem \text{ ACS}} = 2229 \frac{kWh}{año} \\ Q_{dem \text{ ACS no cubierta}} = 564,302 \frac{kWh}{año} \end{cases} \rightarrow E_{util \text{ paneles}} = 1665 \frac{kWh}{año}$$

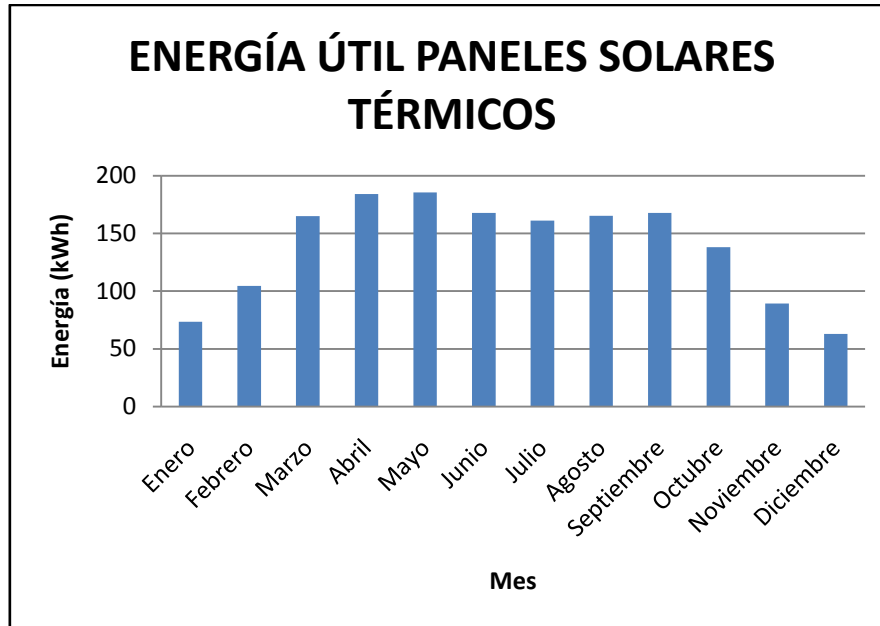


Figura 4.2. Energía útil obtenida de los paneles solares para cada mes del año.

De esta forma, primero debemos obtener la energía primaria que debe consumirse en una caldera de gas natural ordinaria para que cubra la misma parte de la demanda. Así, estimando una eficiencia de la caldera de gas natural en un 90 %, obtenemos la energía primaria consumida en la caldera a partir de la siguiente expresión.

$$E_{cald} = \frac{E_{util}}{\eta_{cald}} = 1850 \text{ kWh}$$

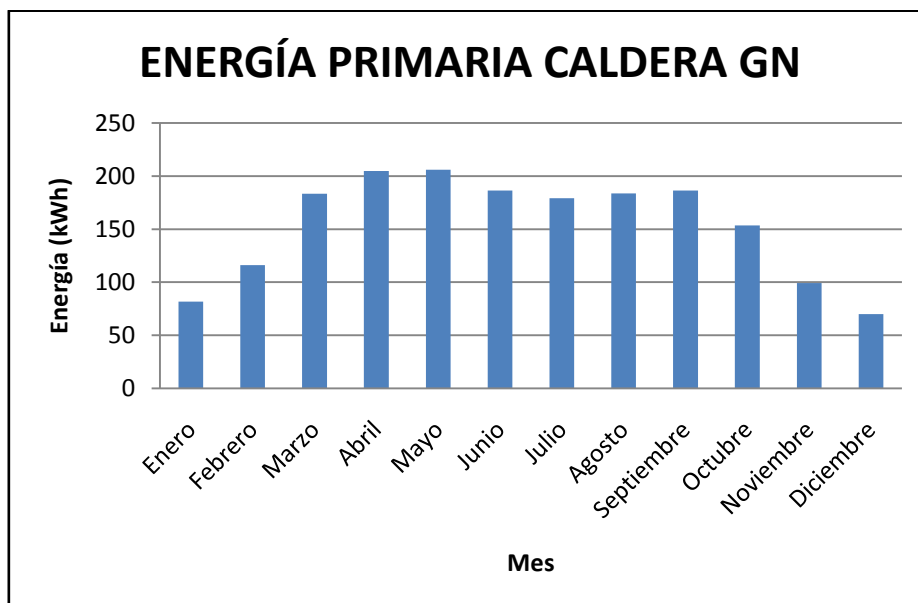


Figura 4.3. Energía primaria consumida por la caldera convencional de GN.

Conocida esta energía, obtenemos el Potencial de Efecto Invernadero de la instalación convencional, y por tanto el ahorro de emisiones de GEI derivado de la utilización de la instalación solar, a partir de la siguiente expresión.

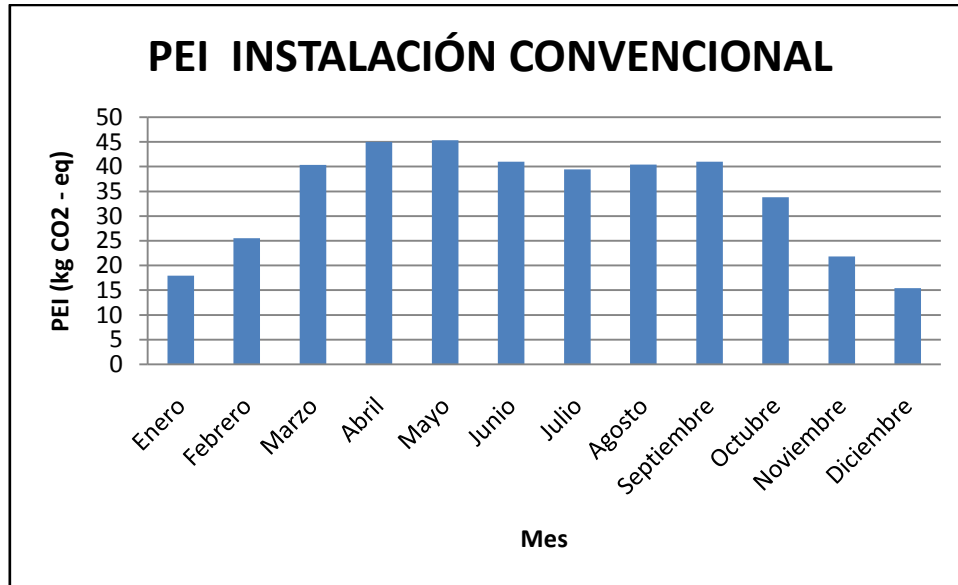


Figura 4.4. Potencial de Efecto Invernadero de la instalación convencional.

$$PEI_{GN-SolACS} = E_{cald} \cdot E_{GN} = 1850 \frac{kWh}{año} \cdot 0,22 \frac{kg CO_2 eq}{kWh} = 406,926 \frac{kg CO_2 eq}{año}$$

En el cálculo anterior no tenemos en cuenta la energía suministrada a la piscina durante los meses de verano, al considerarse energía no útil. En el caso de valorar esta energía, el resultado sería un incremento en el ahorro de emisiones de GEI.

Finalmente, suponiendo un período de funcionamiento de la instalación de 25 años, obtenemos un ahorro total de emisiones de GEI de 10,17 tm de CO₂ equivalentes.

Por último, puede ser interesante para este análisis ambiental el ahorro de combustibles fósiles que supone esta instalación solar térmica frente a la caldera convencional de gas natural del 90 % de rendimiento considerada anteriormente. Los resultados se muestran a continuación.

$$m_{GN} = \frac{E_{util}}{\eta_{cald} \cdot PCI_{GN}} = 148 \frac{kg}{año}$$

Lo que supone un ahorro total de consumo de combustibles fósiles de 3,7 tm a lo largo del período de funcionamiento de la instalación considerado (25 años).

4.2.4.- CALDERA DE BIOMASA

Como ya se dijo en el capítulo anterior, la biomasa extraída de la naturaleza de manera sostenible, es neutra en cuanto a emisiones de GEI en sí misma, ya que la cantidad de GEI emitidos a la atmósfera derivado de su empleo es fijada por la fotosíntesis al año siguiente.

La caldera de biomasa de la vivienda servirá como cobertura de la demanda de calefacción así como sistema de apoyo para la demanda de ACS no cubierta por la instalación solar. De esta

forma, la energía que debe aportar al año esta caldera de pellets, obtenida en el capítulo anterior, se muestra a continuación.

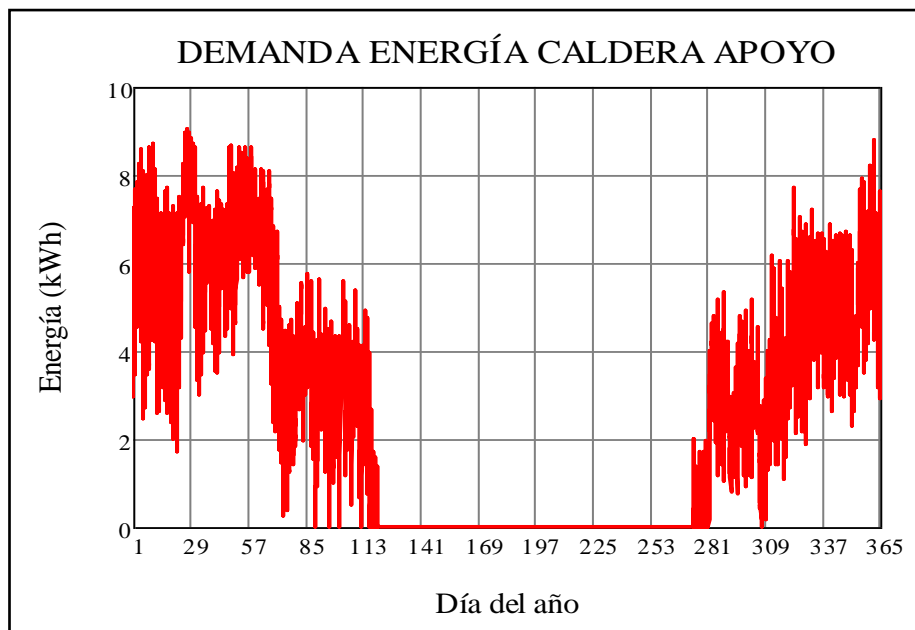


Figura 4.5. Energía a producir por la caldera de pellets.

$$E_{cald\ biomasa} = 2,138 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

Al igual que hicimos en la instalación solar térmica para ACS, para obtener el ahorro de emisiones de GEI que supone la instalación de la caldera de pellets, tenemos que obtener las emisiones que se producirían si esta carga térmica es cubierta por una caldera convencional de gas natural, la cual estimaremos con una eficiencia del 90 %. Para ello, previamente debemos obtener la energía primaria que debe ser consumida en la caldera de gas natural convencional para dar cobertura a la demanda expuesta anteriormente. Esta energía primaria se muestra a continuación.

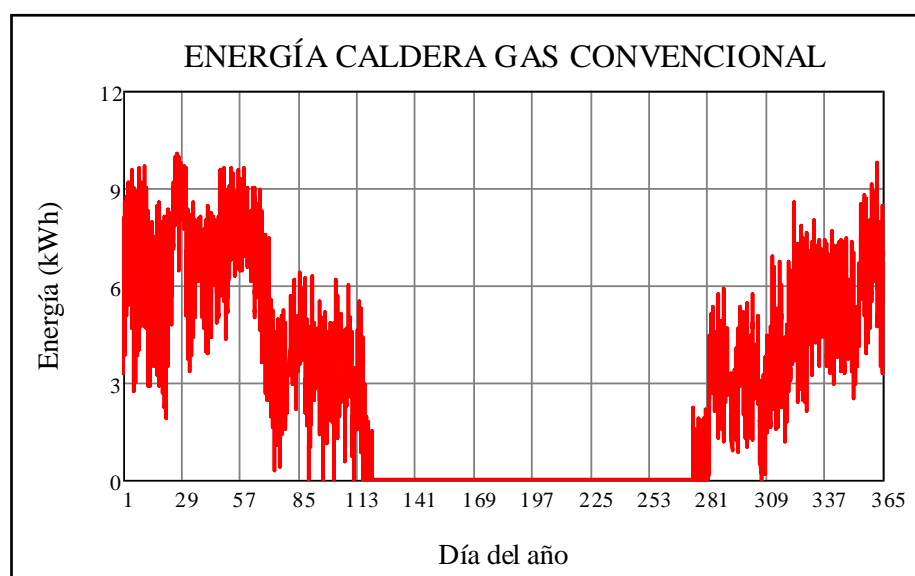


Figura 4.6. Energía primaria consumida por la caldera de gas convencional.

$$E_{cald\ GN} = 2,376 \cdot 10^4 \text{ kWh}$$

Finalmente, obtenemos el Potencial de Efecto Invernadero de la instalación convencional, y por tanto el ahorro de emisiones de GEI derivado de la utilización de la caldera de biomasa, a partir de la siguiente expresión.

$$PEI_{GN-Biomasa} = E_{cald\ GN} \cdot E_{GN}$$

Los resultados se muestran a continuación.

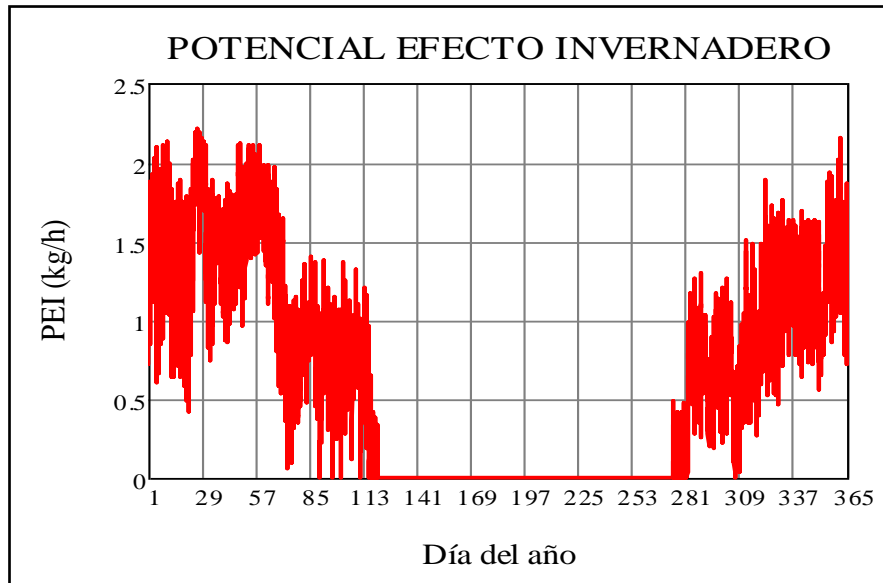


Figura 4.7. Evolución anual del Potencial de Efecto Invernadero de la instalación convencional.

$$PEI_{GN-Biomasa} = 2,376 \cdot 10^4 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,22 \frac{\text{kg CO}_2 \text{ eq}}{\text{kWh}} = 5,28 \frac{\text{tm CO}_2 \text{ eq}}{\text{año}}$$

Finalmente, suponiendo un período de funcionamiento de la caldera de 25 años, al igual que para las instalaciones anteriores, obtenemos un ahorro total de emisiones de GEI de 131,9 tm de CO₂ equivalentes.

Al igual que en el caso de la instalación solar térmica, resulta interesante calcular el ahorro de consumo de combustibles fósiles derivado del uso de la caldera de pellets. Comparando de nuevo con una caldera convencional de gas natural de 90% de rendimiento, obtenemos los siguientes resultados.

$$m_{GN} = \frac{E_{cald\ biomasa}}{\eta_{cald} \cdot PCI_{GN}} = 1900 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Lo que supone un ahorro total de consumo de combustibles fósiles de 47,5 tm a lo largo del período de funcionamiento de la caldera considerado (25 años).

4.3.- ANÁLISIS ECONÓMICO

4.3.1.- INTRODUCCIÓN

El análisis que se va a realizar a continuación tiene por objeto estudiar las tres instalaciones proyectadas bajo un punto de vista económico para comprobar la rentabilidad de las inversiones iniciales que es necesario realizar en cada una de ellas.

Para determinar la rentabilidad de cada una de las instalaciones, emplearemos las siguientes herramientas financieras.

- Valor Actual Neto (VAN): se trata de un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. El VAN puede obtenerse a partir de la siguiente expresión.

$$VAN = -I_0 + VR \frac{1}{(1+k)^n} + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t}$$

Donde:

I_0 : inversión inicial a realizar.

VR : valor residual de la instalación al final del proyecto.

k : tipo de interés.

FC : flujo de caja.

n : número total de años que funcionará la instalación.

t : año en el que determinamos el VAN.

En nuestro caso, consideraremos nulo el valor residual de la instalación al final del proyecto para los tres casos, tomaremos un tipo de interés del 9%, el número total de años que funcionarán las instalaciones será de 25 años y el flujo de caja se corresponderá con el ahorro anual logrado por cada instalación.

- Período de retorno de la inversión (Payback, PB): se trata de un criterio estático de valoración de inversiones que permite seleccionar un determinado proyecto en base a cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial mediante flujos de caja. Se obtiene calculando el VAN año a año y determinando cuándo se hace cero.

$$VAN_t = 0 \Rightarrow PB = t$$

Este método favorece los proyectos que produzcan beneficios al principio. Cuanto más corto resulta el período de retorno, más atractiva es la inversión.

Por otro lado, en el estudio económico que se va a llevar a cabo tenemos que considerar posibles subvenciones y primas que reciban las instalaciones proyectadas. Además, resultado del análisis ambiental realizado anteriormente, se podría tener en cuenta los ingresos derivados de la venta de derechos de emisiones de GEI a través del mercado de derechos de emisión, aunque este mercado resulta más interesante en el caso de una gran industria, ya que en el caso de nuestra vivienda, la cuantía a recibir resulta muy baja en comparación con las inversiones a realizar.

4.3.2.- INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Este tipo de instalaciones contaba con una prima de producción fotovoltaica desde el año 2004, habiéndose suprimido en el año 2013. Realizaremos el estudio considerando por separado los dos casos, con el fin de comparar la rentabilidad de la misma inversión en los dos escenarios.

4.3.2.1.- ANÁLISIS CONSIDERANDO PRIMA DE PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA

1) Inversión inicial necesaria:

El estado del arte actual de la tecnología fotovoltaica nos permite estimar un precio de la instalación de 2725 € por kWhp instalado. Dado que nuestra instalación cuenta con una potencia pico de 4 kWh, estimamos la inversión inicial a realizar en 10900 €.

2) Ahorro anual:

El sistema fotovoltaico produce la energía eléctrica que demanda el edificio, de modo de que el ahorro será el coste de esta energía obtenida de la red eléctrica de distribución a través de una comercializadora.

Dado que el edificio cuenta con una demanda anual de energía eléctrica de 6314 kWh, conviene suscribir la tarifa Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC), fijada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. La resolución de 30 de Diciembre de 2013 de la Dirección General de Política Energética y Minas establece los siguientes precios PVPC, publicados en el BOE del martes 31 de Diciembre de 2013.

- Potencia ≤ 10 kW:

$$\text{Término de potencia contratada: } 3,50361883 \frac{\text{€}}{\text{kWh} \cdot \text{mes}}$$

$$\text{Término de energía: } 0,124107 \frac{\text{€}}{\text{kWh}}$$

De esta forma, tomando una potencia contratada de 5.5 kWh y un IVA del 21 %, obtenemos un ahorro derivado de la compra de la electricidad de 1228 €/año.

Por otro lado, vamos a considerar la prima que establecía el Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regulaba la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Este Real Decreto establecía las primas de producción para las instalaciones fotovoltaicas de potencia inferior a 100 kW.

$$\text{Para los primeros 25 años: } 44,0381 \frac{\text{c€}}{\text{kWh}}$$

$$\text{A partir de entonces: } 35,2305 \frac{\text{c€}}{\text{kWh}}$$

Conocida la energía generada por nuestra instalación, y realizando el cálculo únicamente para los primeros 25 años de vida de la instalación obtenemos la siguiente prima de producción.

$$\text{Prima} = E_{\text{gen}} \cdot \text{Precio} = 6333 \text{ kWh} \cdot 44,0381 \frac{\text{c€}}{\text{kWh}} = 2789 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

Por lo tanto, el ahorro anual que se conseguirá con la instalación fotovoltaica será, por un lado el derivado del coste de la electricidad y por el otro el ingreso obtenido a través de la prima. Así el ahorro obtenido es el siguiente.

$$Ahorro = 1228 \frac{\text{€}}{\text{año}} + 2789 \frac{\text{€}}{\text{año}} = 4017 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

3) Análisis de rentabilidad:

Una vez conocida la inversión inicial que se debe realizar (10900 €) y el ahorro anual que se conseguirá con la instalación fotovoltaica (4017 €), podemos realizar el análisis de rentabilidad con las dos herramientas expuestas anteriormente. Así pues calculamos el Valor Actual Neto de la inversión año a año. El resultado se muestra a continuación.

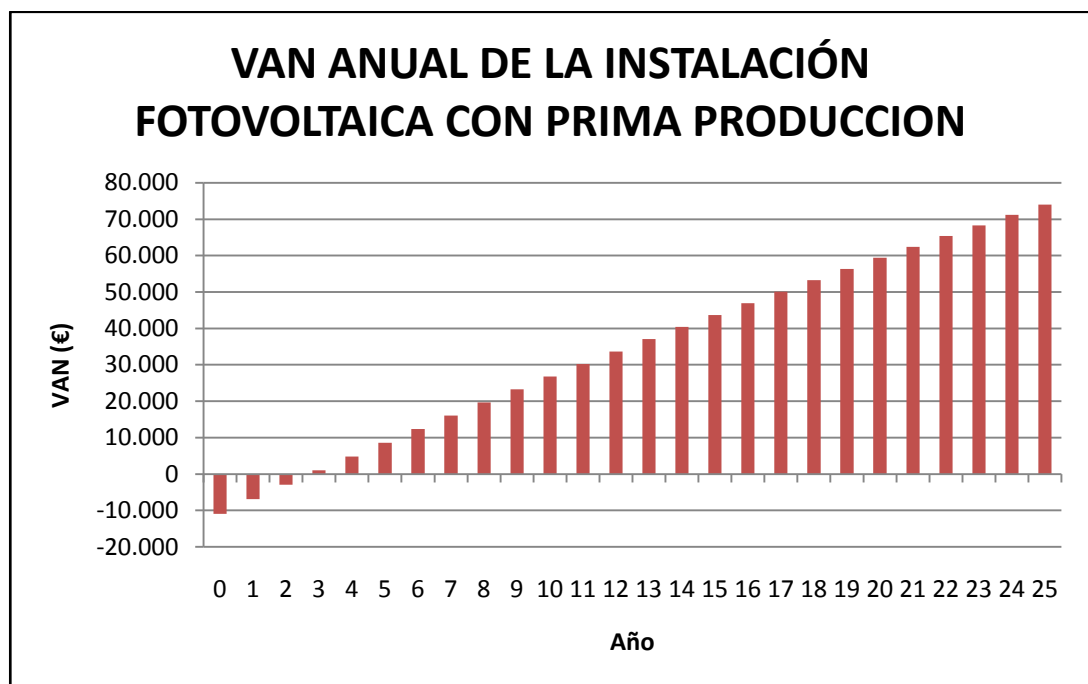


Figura 4.8. Evolución anual del Valor Actual Neto de la instalación solar fotovoltaica considerando prima de producción.

En el gráfico anterior se puede observar que la instalación fotovoltaica cuenta con una rentabilidad elevada, ya que la prima de producción considerada hace que se recupere la inversión en apenas 2 años. El análisis realizado pone de manifiesto que quizá la prima de producción otorgada fuera elevada, si bien hay que tener en cuenta que el precio de la instalación en el año en que entraron en vigor estas primas de producción era considerablemente superior al considerado actualmente, debido a los avances y madurez de las tecnologías empleadas. Es por este motivo por lo que el sistema de primas de producción se ha ido corrigiendo en los últimos años, tendiendo a la situación actual en la que no existe prima de producción para las nuevas instalaciones. Esta situación se analiza a continuación.

4.3.2.2.- ANÁLISIS SIN CONSIDERAR PRIMA DE PRODUCCIÓN FOTOVOLTAICA

1) Inversión inicial necesaria:

La inversión inicial a realizar es la misma que la calculada en el apartado anterior, es decir, 10900 €.

2) Ahorro anual:

A partir del año 2013, se suprimen las primas de producción fotovoltaica para las nuevas instalaciones, por lo que el ahorro anual derivado de las instalaciones fotovoltaicas será únicamente el correspondiente a la no necesidad de pagar por la energía consumida, ya que la energía producida por la instalación será vendida a la red al mismo precio que la energía comprada para cubrir la demanda eléctrica del edificio.

Así pues, teniendo en cuenta los cálculos realizados en el apartado anterior en virtud de la tarifa Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC), fijada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, obtenemos el siguiente ahorro anual.

$$Ahorro = 1228 \frac{\text{€}}{\text{año}}$$

3) Análisis de rentabilidad:

Teniendo en cuenta la inversión a realizar (10900 €) y el ahorro anual obtenido con la instalación fotovoltaica (1228 €), podemos llevar a cabo el mismo análisis de rentabilidad realizado en el apartado anterior. Calculamos el Valor Actual Neto de la inversión año a año, cuyo resultado se muestra a continuación.

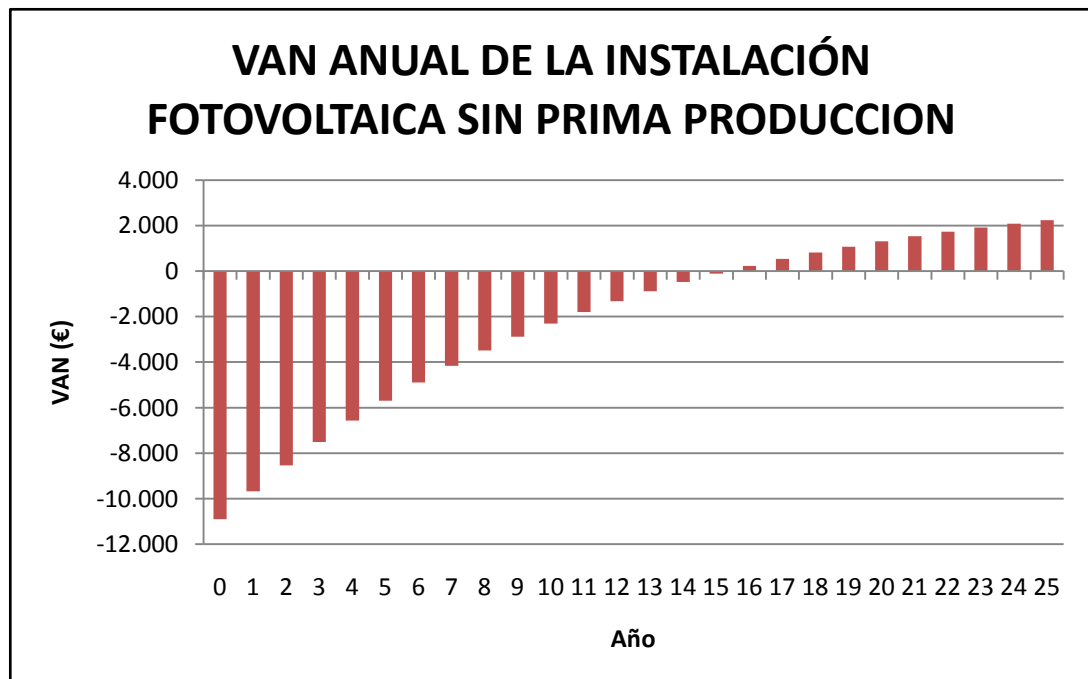


Figura 4.9. Evolución anual del Valor Actual Neto de la instalación solar fotovoltaica sin considerar prima de producción.

En el gráfico anterior vemos como en este caso la inversión se recupera en el año 15, muy lejos del período de 2 años que resultaba en el caso de considerar una prima de producción. Sin embargo, el fabricante de los módulos fotovoltaicos garantiza el funcionamiento de los mismos durante 25 años, por lo que dada la madurez actual de las tecnologías fotovoltaicas, aunque el período de retorno de la inversión sea muchas mayor, sí que se obtendría una cierta rentabilidad en los últimos 10 años de vida de la instalación.

4.3.3.- INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA AGUA CALIENTE SANITARIA

Las instalaciones solares térmicas para ACS como la desarrollada en el presente proyecto resultan de obligada implantación en edificios de nueva construcción según el Código Técnico de la Edificación. Actualmente, pese a la obligatoriedad de implantación de este tipo de instalaciones, estas no cuentan con ninguna clase de ayuda o subvención. Además, derivado de esta obligatoriedad, el análisis de rentabilidad resulta únicamente a título informativo ya que la rentabilidad no determinará en este caso la conveniencia o no de implantación de estos sistemas.

1) Inversión inicial necesaria:

El nivel de madurez de las tecnologías solares actuales permite considerar un coste total de la instalación de 600 €/m² de superficie de captación. Dado que la instalación proyectada cuenta con una superficie de captación de 3,54 m², necesitaremos realizar una inversión inicial de 2124 €.

2) Ahorro anual:

La instalación solar térmica suministrará la energía necesaria para cubrir una parte de la demanda de ACS de la vivienda, de modo que el ahorro anual se corresponderá con el coste del gas natural que sería necesario consumir en una caldera convencional para dar cobertura a esa misma parte de la demanda de ACS de la vivienda.

Al igual que hicimos en el apartado anterior de análisis ambiental, primero debemos obtener la energía primaria que debe consumirse en una caldera de gas natural ordinaria para que cubra la misma parte de la demanda. Así, estimando una eficiencia de la caldera de gas natural en un 90 %, obtenemos la energía primaria consumida en la caldera a partir de la siguiente expresión.

$$E_{cald} = \frac{E_{util}}{\eta_{cald}} = 1850 \text{ kWh}$$

Dado que el edificio contará con una demanda anual de gas natural superior 5000 kWh teniendo en cuenta la demanda de ACS y la de calefacción, habría que contratar la Tarifa de Último Recurso 2 (TUR 2), fijada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. La resolución de 28 de Enero de 2014 de la Dirección General de Política Energética y Minas establece los siguientes precios TUR, publicados en el BOE del jueves 30 de Enero de 2014.

- 5000 kWh < Consumo < 50000 kWh:

Término fijo: $8,88 \frac{\text{€}}{\text{mes}}$

Término variable: $5,039908 \frac{\text{cent €}}{\text{kWh}}$

Así, teniendo en cuenta un IVA del 21 %, obtenemos un ahorro anual derivado de la compra de gas natural de 241,735 €/año.

3) Análisis de rentabilidad:

Conocida la inversión inicial a realizar (2124 €) y el ahorro anual obtenido con la instalación fotovoltaica (241,735 €), ya podemos llevar a cabo el análisis de rentabilidad. Calculamos el Valor Actual Neto de la inversión año a año, cuyo resultado se muestra a continuación.

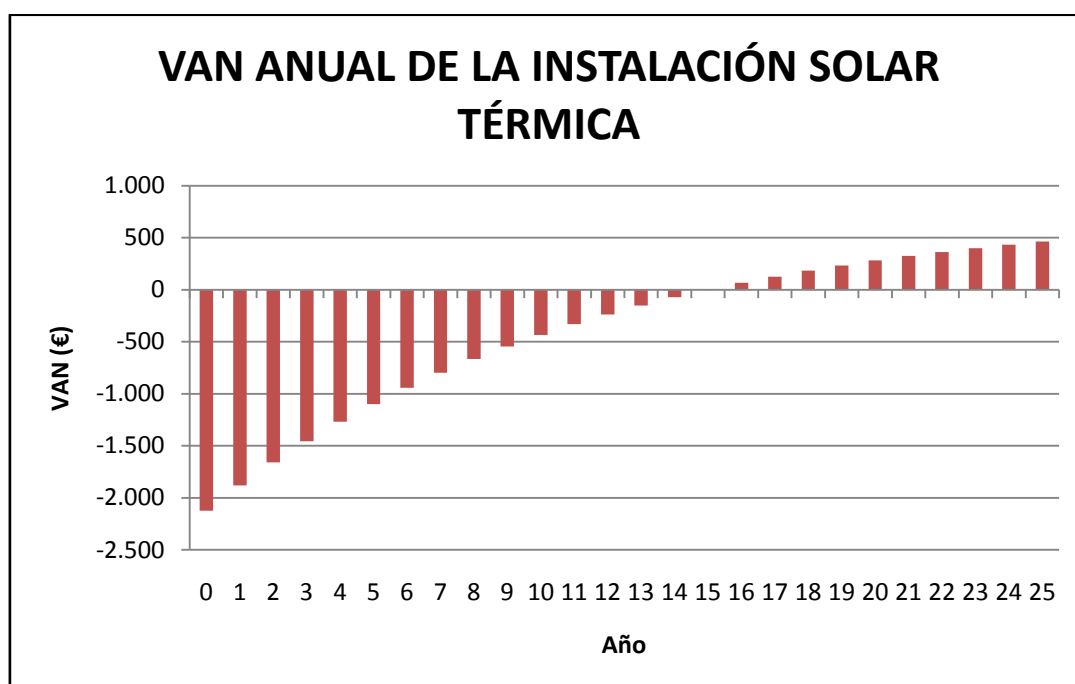


Figura 4.10. Evolución anual del Valor Actual Neto de la instalación solar térmica para producción de ACS.

En el gráfico anterior vemos como, aunque la inversión inicial a realizar en este tipo de instalaciones sea considerablemente menor que en las instalaciones fotovoltaicas, la instalación no comienza a ser rentable hasta el año 14, prácticamente igual que en el caso de la instalación fotovoltaica sin considerar prima de producción. Esto es debido a que el ahorro anual derivado de la no necesidad de comprar gas natural es mucho menor que el derivado de la compra de electricidad.

Por último, cabe añadir que en este caso no se ha tenido en consideración la energía vertida a la piscina en los meses en los que se obtiene más energía que la demandada, al igual que se hizo en el análisis ambiental. Si se hubiera considerado este aporte solar, el VAN mejoraría en cierta medida.

4.3.2.- CALDERA DE BIOMASA

Vamos a realizar el análisis económico para el modelo de caldera de biomasa seleccionado considerando la ausencia de subvenciones que existe actualmente para este tipo de tecnologías.

1) Inversión inicial necesaria:

Cada vez existe en el mercado una mayor variedad de tecnologías de calderas de biomasa con un amplio abanico de precios, en función de la potencia y el sistema de alimentación de pellets. La caldera seleccionada en este proyecto (Viessmann Vitoligno 300-P) tiene un sistema de alimentación con tornillo sin fin y un rendimiento de hasta el 95% como se puede consultar en la hoja de características presente en los anexos de este proyecto.

Esta caldera tiene un coste, incluyendo impuestos e instalación, de 8800 €. Además, resulta conveniente instalar un silo de almacenamiento de pellets, el cual tiene un coste de 3300 €. Por tanto, necesitamos realizar una inversión inicial para esta instalación de 12100 €.

2) Ahorro anual:

Al igual que hicimos en el caso de la instalación solar térmica, el ahorro obtenido mediante el uso de esta instalación deriva del ahorro en la compra de gas natural. Para determinar este ahorro, debemos determinar la energía que habría que generarse en una caldera convencional de gas natural que cuente con un rendimiento del 90 %. Una vez determinada esta energía obtendremos el ahorro a partir del precio actual del gas natural.

La caldera de biomasa debe hacer frente a la demanda de ACS no cubierta por la instalación solar así como a la demanda de calefacción, lo que supone una carga térmica total de 21,38 MWh. Por tanto la energía primaria que debe consumir la caldera convencional de gas natural se muestra a continuación.

$$E_{cald} = \frac{E_{ACS + Cal}}{\eta_{cald}} = 23,76 \text{ MWh}$$

Tomando como referencia para el precio del gas natural la Tarifa de Último Recurso 2 (TUR 2), fijada por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, mostrada en el apartado anterior, obtenemos un ahorro total anual derivado de la compra de gas natural de 1578 €.

Sin embargo, a diferencia de las anteriores instalaciones en las que el combustible que utilizaban era la luz solar, la caldera de biomasa utiliza como combustible los pellets, los cuales tienen un coste que es necesario tener en cuenta para calcular el ahorro anual. Los precios de este combustible varían sensiblemente en función del proveedor y de la zona de reparto. Consideraremos un precio medio para este combustible de 277,7 € por palé servido (1125 kg). En el capítulo anterior de este proyecto se obtuvo que esta caldera de biomasa tendrá un consumo anual de pellets de 4488 kg, por lo que necesitaremos 4 palés al año, lo que hace un coste anual de combustible de 1111 €.

Por tanto, el ahorro anual que se logrará con la caldera de biomasa será la diferencia entre el coste del gas natural y el coste de los pellets, resultando de 466,82 € al año.

3) Análisis de rentabilidad:

Conocida la inversión inicial a realizar (12100 €) y el ahorro anual obtenido con la instalación fotovoltaica (466,82 €/año), ya podemos llevar a cabo el análisis de rentabilidad. Calculamos el Valor Actual Neto de la inversión año a año, cuyo resultado se muestra a continuación.

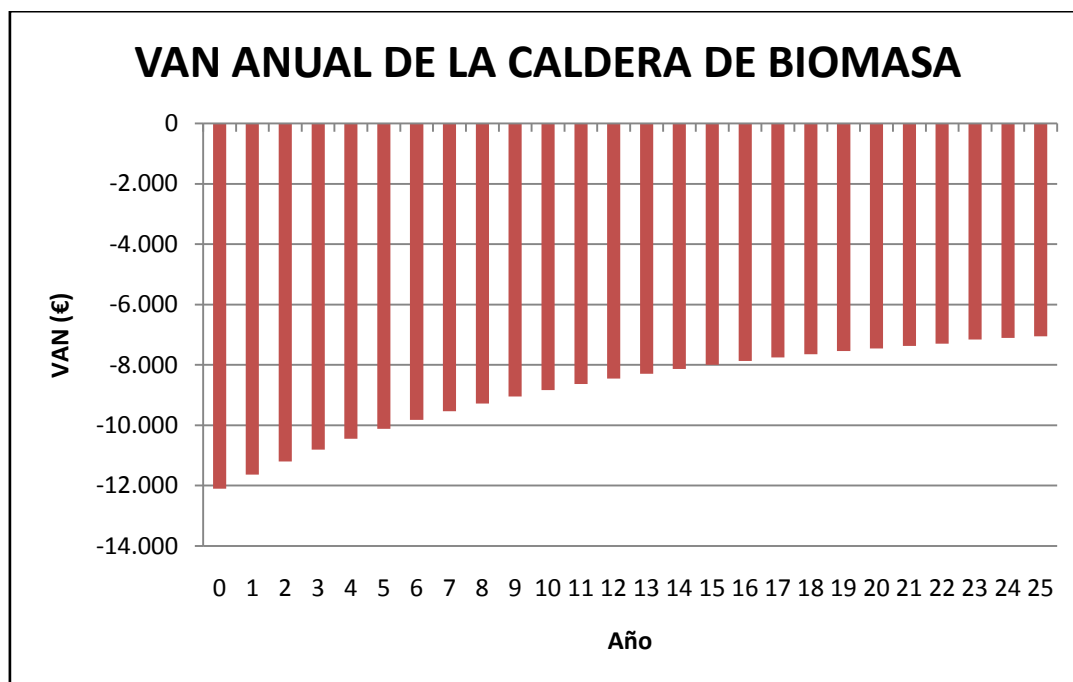


Figura 4.11. Evolución anual del Valor Actual Neto de la instalación de la caldera de biomasa.

Del análisis de rentabilidad realizado podemos concluir que este tipo de tecnologías aún presenta la necesidad de realizar grandes inversiones iniciales sin contar con ahorro anual suficientemente elevado como para obtener un período de amortización de la inversión que resulte interesante, como se puede ver en el gráfico anterior. Tal vez este tipo de tecnologías deba ser todavía subvencionado por las administraciones, a fin de que la instalación de este tipo de calderas resulte rentable, ya que si cuentan con una gran reducción de GEI como hemos visto en el apartado anterior. Cabe decir que esta tecnología está teniendo mayor aceptación en edificios de mayor tamaño que contaban con calderas alimentadas con gasóleo, pues el ahorro anual conseguido es considerablemente superior.

5.- CONCLUSIONES

5.1.- INTRODUCCIÓN

Este último capítulo del presente proyecto tiene por objetivo analizar los estudios llevados a cabo y los principales resultados obtenidos, con el fin de valorar las posibilidades reales de implantación que este tipo de tecnologías presentan en el sector residencial, a fin de contribuir a la mejora de la situación energética de nuestro país.

Para ello, lo que haremos será analizar por separado los principales resultados que hemos obtenido en cada uno de los diferentes capítulos del presente proyecto.

5.2.- SITUACIÓN ENERGÉTICA DE ESPAÑA

En el primer capítulo se realizó un análisis de la situación energética actual que vive nuestro país, lo que permitió identificar los principales problemas con los que cuenta, así como las herramientas de que dispone para afrontarlos. Las conclusiones que se extrajeron de este estudio son las siguientes.

- España posee un consumo energético por unidad de producto interior bruto superior al de la media de los países europeos. En los últimos años se han realizado importantes esfuerzos en materia de ahorro y eficiencia energética, para lograr acercarnos a los valores medios europeos en intensidad energética.
- Nuestro país presenta una elevada dependencia energética, debido en gran medida a sus escasos recursos autóctonos y a un consumo elevado de productos petrolíferos importados, lo cual introduce riesgos e incertidumbre en la garantía del suministro eléctrico.
- España cuenta con elevadas emisiones de gases de efecto invernadero, motivadas por el crecimiento de la generación eléctrica y la demanda de transporte durante la última década.

En este capítulo también se analizó la situación del sector de la edificación bajo el punto de vista de consumo de energía en el sector residencial. De este análisis se extrajeron las siguientes conclusiones:

- El sector de los edificios es responsable de un 40 % del consumo de energía final y de las emisiones de CO₂ aproximadamente.
- Este sector presentó un consumo de energía final en el año 2010 correspondiente al 26,1 % del consumo de energía final nacional para usos energéticos.
- En el sector doméstico, las instalaciones térmicas (ACS y calefacción) representan casi tres cuartas partes del consumo energético del sector.

El desarrollo tecnológico de las aplicaciones térmicas con energías renovables (biomasa, energía solar térmica, geotermia y aerotermia) ha despegado en los últimos años, contando actualmente con un amplio abanico de posibilidades para su integración en la edificación. Estas fuentes de energía han de ser un elemento clave en los edificios para lograr los objetivos de eficiencia energética y evolucionar hacia un consumo energético casi nulo en el futuro. Conceptualmente, los edificios han de pasar de ser un consumidor de energía a un productor – consumidor de energía, que pueda ser autosuficiente o incluso excedentario.

5.3.- ESTUDIO DEL CONSUMO DEL EDIFICIO

En el segundo capítulo analizamos los diferentes consumos de energía que presenta el edificio en estudio, clasificados como demanda de climatización, demanda de agua caliente sanitaria y demanda de electricidad.

5.3.1.- DEMANDA DE CLIMATIZACIÓN

Para poder obtener la demanda total de climatización del edificio, determinamos por un lado la demanda de calefacción durante el período de invierno (comprendido entre el 1 de Octubre y el 30 de Abril), y por otro la demanda de refrigeración durante el período de verano (comprendido entre el 1 de Mayo y el 30 de Septiembre).

Para ambos períodos obtuvimos la distribución horaria, a lo largo de todo el año, de cada una de las diferentes cargas térmicas que aplican en cada período, es decir, las cargas térmicas de transmisión y de intercambios de aire exterior para el caso de la carga térmica de calefacción, y las cargas térmicas de transmisión, de intercambios de aire exterior, cargas internas y cargas de radiación, aunque estas últimas serán prácticamente nulas gracias a la instalación en la fachada sur de la vivienda de persianas orientables.

En el siguiente gráfico se muestra la distribución anual obtenida de las cargas térmicas de calefacción y refrigeración.

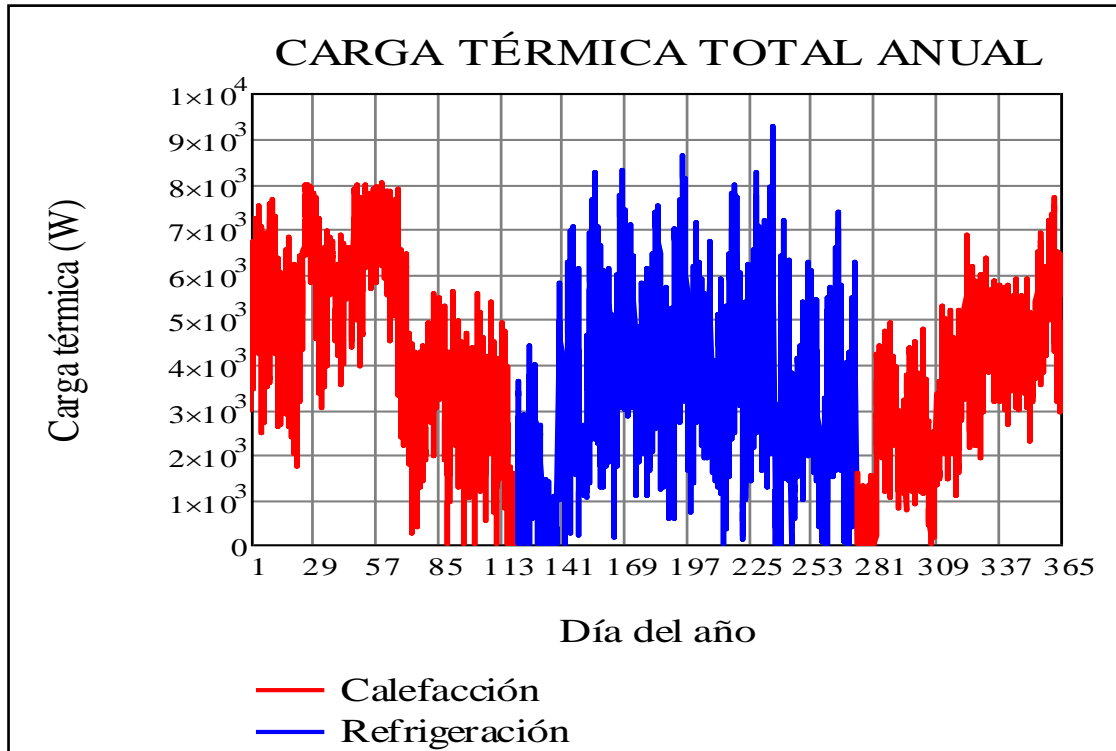


Figura 5.1. Carga térmica total anual.

Obteniendo los siguientes valores máximos para las cargas térmicas de calefacción y refrigeración.

$$Q_{cal_{max}} = 7,996 \text{ kW} \quad Q_{ref_{max}} = 9,24 \text{ kW}$$

Vemos como los valores máximos de carga térmica obtenidos en ambos períodos son muy similares, debido fundamentalmente a las características climáticas de la Comunidad de Madrid.

Además se obtuvo también la energía total que se ha de invertir para cubrir estas cargas térmicas.

$$E_T = 32,75 \text{ MWh} \quad \begin{cases} E_{cal} = 20,82 \text{ MWh} \\ E_{ref} = 11,93 \text{ MWh} \end{cases}$$

5.3.2.- DEMANDA DE AGUA CALIENTE SANITARIA

Siguiendo las indicaciones establecidas en el Código Técnico de la Edificación, comenzamos determinando el consumo de agua caliente sanitaria, obteniendo finalmente un consumo de 112 litros de agua a 60 °C por día. A partir de este dato de consumo y teniendo en cuenta la evolución anual de la temperatura del agua de red en Madrid, determinamos la demanda de energía térmica para la producción del agua caliente sanitaria, cuya evolución anual se muestra a continuación.

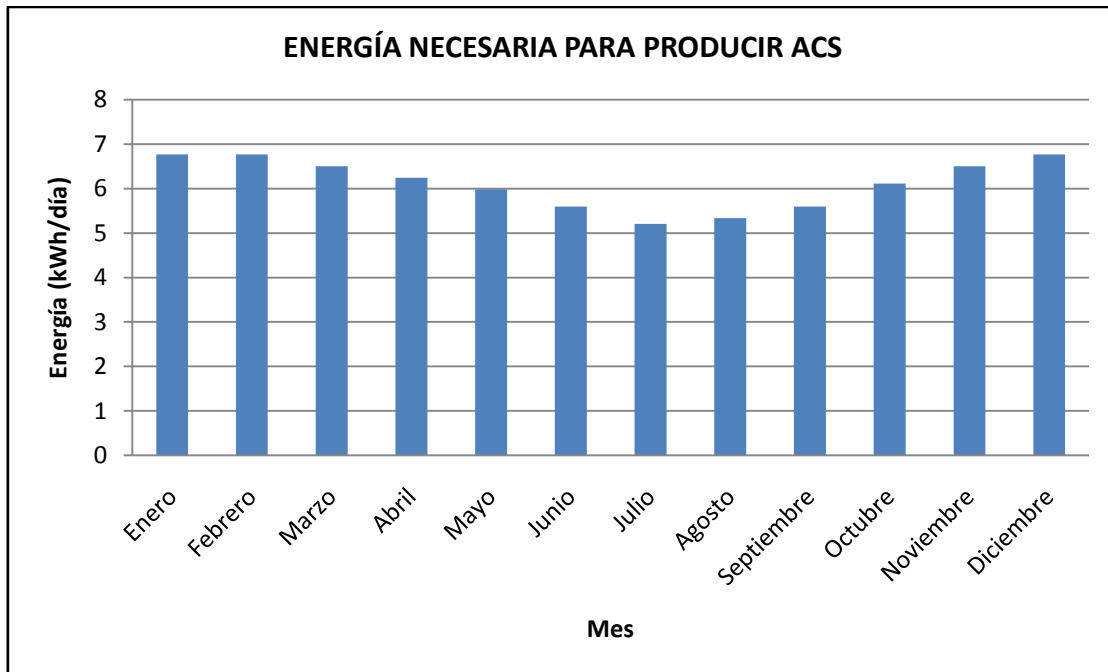


Figura 5.2. Evolución anual de la energía demandada para la producción de ACS.

En el gráfico anterior vemos como la demanda de energía para la producción de ACS presenta gran variación entre los meses de verano y los de invierno.

Por otro lado, el Código Técnico de la Edificación obliga a que una parte significativa de la demanda de energía mostrada anteriormente sea cubierta mediante una instalación solar térmica, estableciendo diferentes límites en función de la demanda de ACS total del edificio y la zona climática en la que se encuentre. En nuestro caso, nos obliga a alcanzar una fracción de aporte solar mínima del 50 %.

Debido a variabilidad estacional que se observa en el gráfico anterior, el dimensionamiento de la instalación solar térmica resultará complejo, pues se debe alcanzar un compromiso entre la falta de cobertura de la demanda durante los meses de invierno y el sobredimensionamiento de la instalación en los meses de verano, con el objetivo de cumplir con la fracción de aporte solar mínima fijada por el CTE.

5.3.3.- DEMANDA DE ELECTRICIDAD

Puesto que no disponemos de datos de consumo eléctrico de la vivienda, realizamos una estimación mensual de esta demanda de energía eléctrica a partir de consumos de electricidad de otra vivienda de similares características. Los resultados de esta estimación se muestran a continuación.

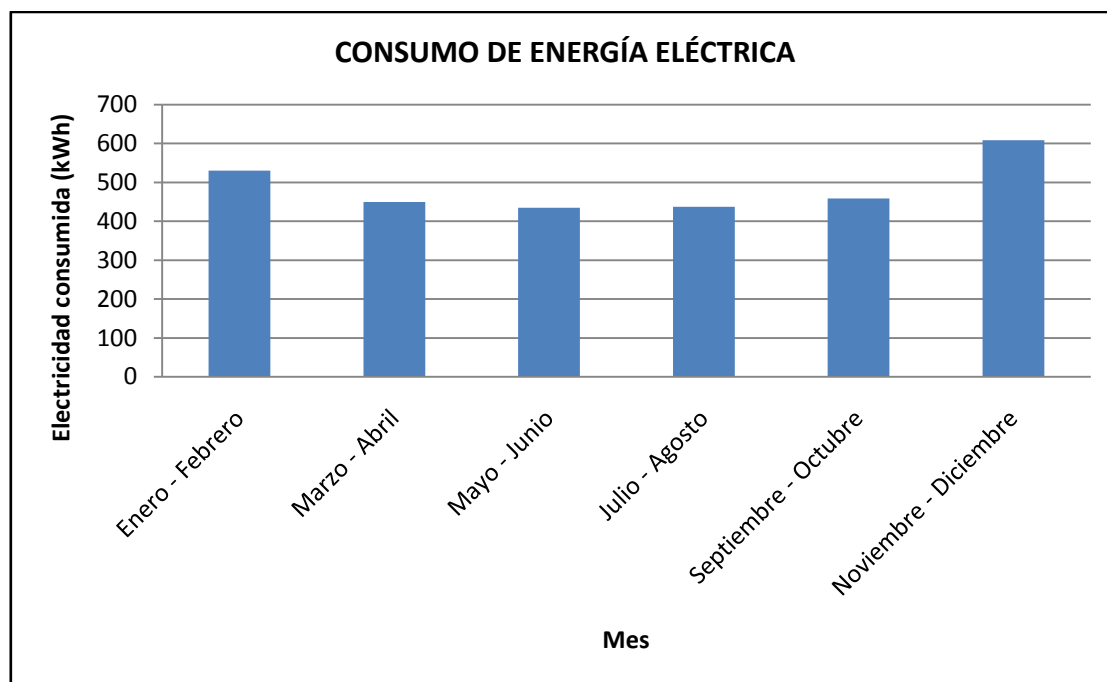


Figura 5.3. Distribución anual del consumo de energía eléctrica.

En el gráfico anterior se ve como el consumo de energía eléctrica resulta superior en los meses de invierno, debido fundamentalmente al incremento de la necesidad de iluminación, ya que estos meses presentan menor número de horas con luz solar.

5.4.- DIMENSIONADO DE LAS INSTALACIONES

En el tercer capítulo se obtuvo el área de captación necesaria con que deben contar cada una de las instalaciones solares para cubrir una parte significativa de la demanda energética de la vivienda, así como los diferentes equipos y componentes que se instalarán en cada una de ellas.

5.4.1.- INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA LA PRODUCCIÓN DE ACS

Conocido el consumo energético de la vivienda para la producción de ACS obtenido en el capítulo anterior, en este apartado se obtuvo el área de captación necesaria para conseguir la fracción de aporte solar mínima establecida en el Código Técnico de la Edificación.

Este dimensionamiento de la instalación solar térmica para ACS lo realizamos utilizando el método de cálculo *f-Chart*, el cual utilizando como variable el área de captación, proporciona un grado de cobertura solar para cada mes del año.

A partir de este cálculo, considerando un área de captación de $3,54 \text{ m}^2$, se obtiene un aporte solar anual del 79,7 %. Este aporte solar resulta ser muy bajo en los meses de verano, donde será necesario utilizar un sistema auxiliar de aporte de energía para cubrir la demanda, y superior a la demanda durante los meses de verano, lo que obliga a disponer de algún mecanismo de disipación del calor excedente (piscina). La distribución del aporte solar anual obtenida se muestra a continuación.

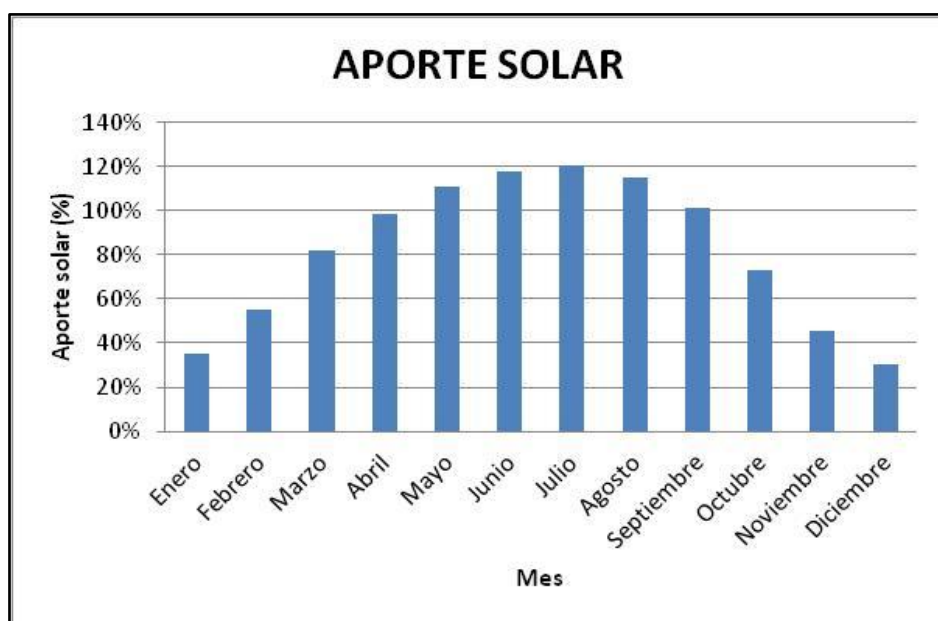


Figura 5.4. Variación del aporte solar para cada mes del año.

Y finalmente, se obtuvo la energía que debe aportar el sistema auxiliar cada mes del año para cubrir la demanda de energía para la producción de ACS.

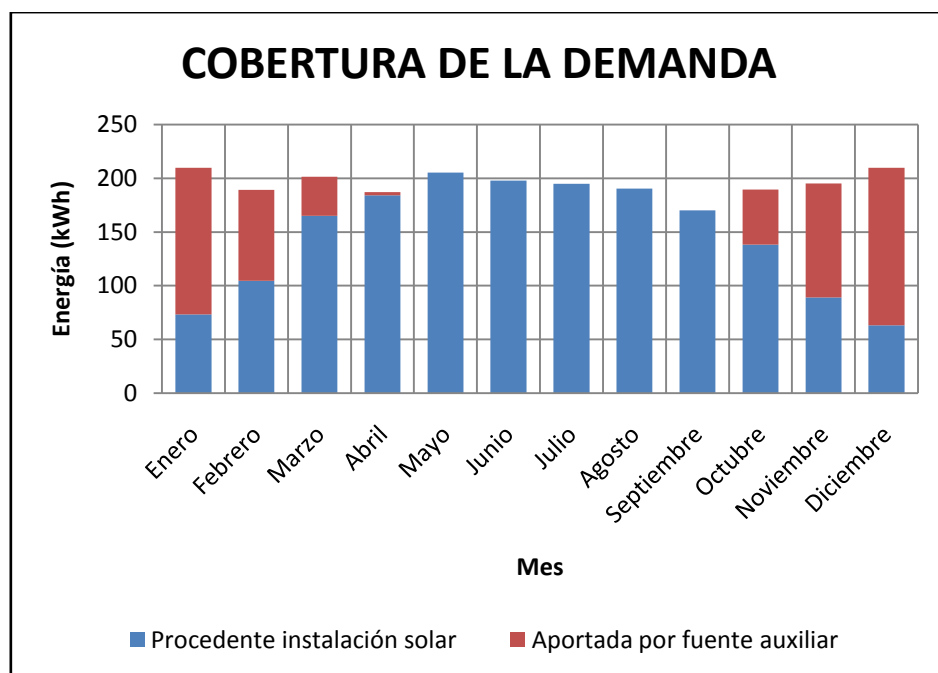


Figura 5.5. Energía a aportar por cada sistema para cubrir la demanda energética de ACS.

5.4.2.- INSTALACIÓN TÉRMICA PARA CALEFACTAR EL EDIFICIO

Para hacer frente a la calefacción del edificio, así como a la demanda de energía para la producción de ACS no cubierta por la instalación anterior, se decidió analizar el funcionamiento de una caldera que utilizara biomasa como combustible.

Tras contabilizar la carga térmica de calefacción y la demanda no cubierta por la instalación solar, se determinó la potencia máxima que debe tener la caldera, así como la energía total consumida a lo largo de todo el año.

$$P_{max} = 9,49 \text{ kW}$$

$$E_{consumida} = 22,44 \text{ MWh}$$

Obtenidos estos resultados, se seleccionó el modelo de caldera a instalar y se obtuvo la evolución anual del consumo de pellets que tendría, cuyo resultado se muestra a continuación.

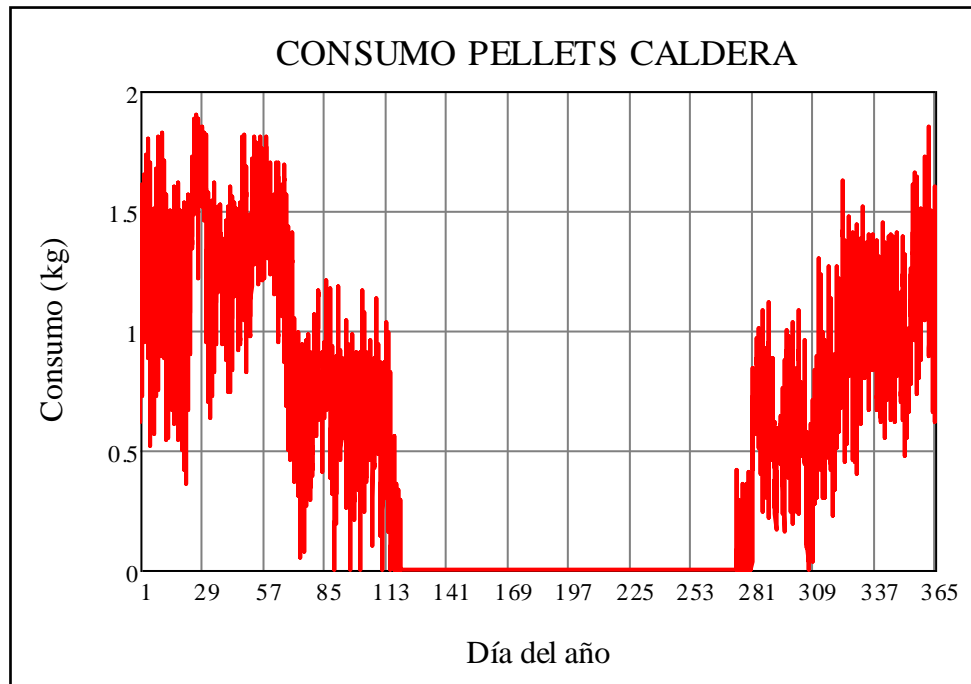


Figura 5.6. Evolución anual del consumo de pellets de la caldera de biomasa.

Obteniéndose un consumo total de pellets de 4,488 toneladas al año.

5.4.3.- EQUIPO DE COMPRESIÓN MECÁNICA PARA REFRIGERAR EL EDIFICIO

La refrigeración de la vivienda se decidió realizarla a través de un equipo de compresión mecánica. Tomando unas temperaturas de evaporación y condensación de 5 °C y 55 °C respectivamente, se obtuvieron los diferentes flujos de calor que tienen lugar en el ciclo de refrigeración. Introduciendo una serie de rendimientos en el ciclo teórico calculado, se obtuvo la siguiente evolución anual para el consumo de energía eléctrica del equipo de compresión mecánica.

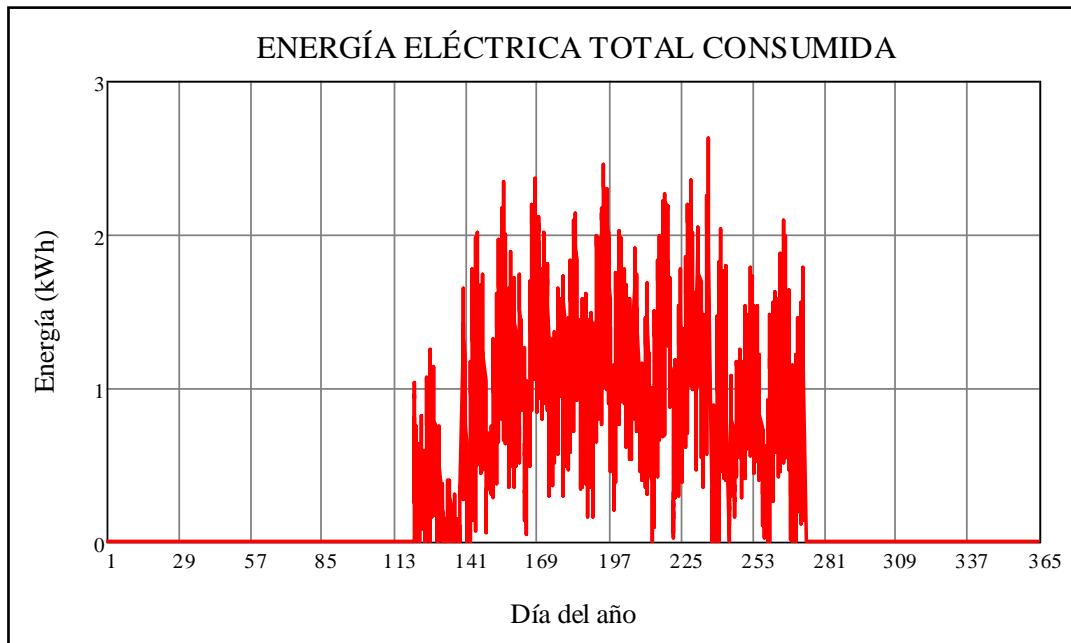


Figura 5.7. Evolución de la energía eléctrica total consumida por el equipo de refrigeración.

5.4.4.- INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

La instalación solar fotovoltaica debe proporcionar cobertura a la demanda de energía eléctrica del edificio, así como a la demanda de energía eléctrica del equipo de refrigeración. El resultado del proceso de dimensionado es que, contando con una superficie útil de módulos fotovoltaicos de $28,755 \text{ m}^2$ y una potencia pico total de $3,920 \text{ KW}$, logramos dar cobertura al total de la demanda de energía eléctrica.

La cobertura de la demanda no se realiza mes a mes, es decir, durante los meses de invierno se producirá una menor cantidad de energía que la demanda, por lo que será necesario absorber energía de la Red Eléctrica; y durante los meses de verano se invertirá esta situación, produciendo más energía que la demandada, y por tanto inyectando energía a la Red Eléctrica. Esta situación se puede observar en la siguiente figura, donde se puede comparar la energía producida y demandada cada mes del año.

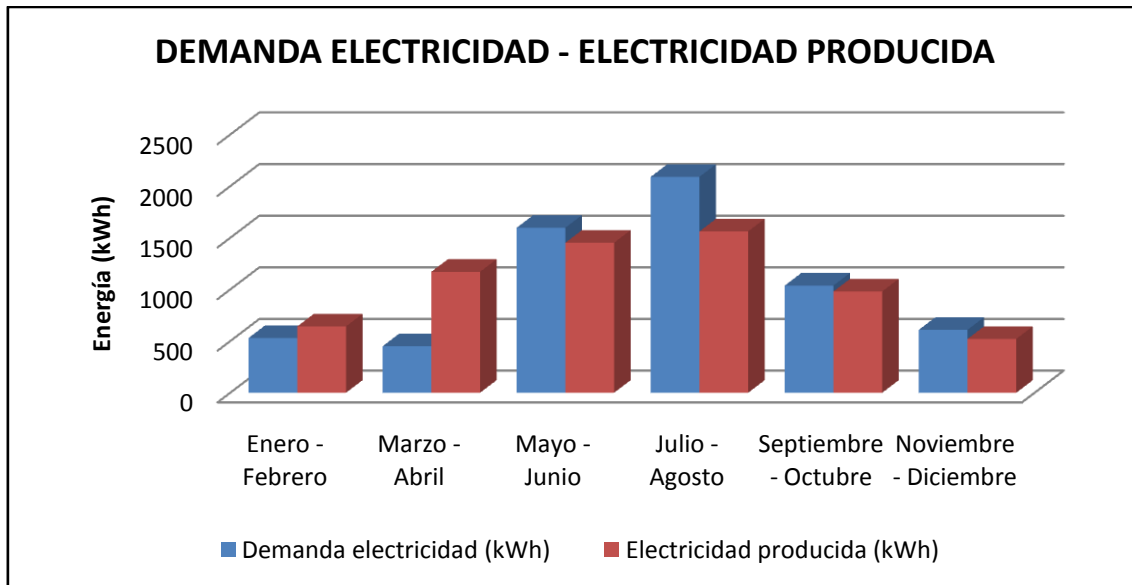


Figura 5.8. Demanda y producción de energía eléctrica a lo largo del año.

5.5.- ANÁLISIS AMBIENTAL Y ECONÓMICO

En el último capítulo realizamos el estudio ambiental y económico de las instalaciones proyectadas, con el objetivo de determinar los beneficios medioambientales y la rentabilidad económica de cada instalación.

5.5.1.- ANÁLISIS AMBIENTAL

El efecto invernadero es un fenómeno atmosférico natural que permite mantener la temperatura del planeta, al retener parte de la energía procedente del Sol. Sin embargo, el gran problema actual reside en que el aumento de la concentración de dióxido de carbono y otros gases procedentes del quemado de combustibles fósiles ha provocado que este fenómeno se intensifique, lo que está causando un aumento de la temperatura global del planeta y el consecuente derretimiento de los hielos polares y el aumento del nivel del mar.

Una forma de mitigar este problema es la utilización de energías limpias y renovables, especialmente en el entorno urbano, donde se presentan los mayores problemas de contaminación atmosférica. Un ejemplo de estas energías limpias podrían ser las instalaciones solares y de biomasa proyectadas en este trabajo. El objetivo de este apartado es cuantificar las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas gracias a la utilización de este tipo de tecnologías, así como la masa de combustibles fósiles ahorrada en la producción de energía para dar cobertura a las necesidades de la vivienda.

Las emisiones de gases de efecto invernadero evitadas debido a la utilización de las instalaciones proyectadas se muestra a continuación.

$$\Delta CO_{2\text{ solar fot}} = 1,52 \frac{\text{tm } CO_2 \text{ eq}}{\text{año}}$$

$$\Delta CO_{2\text{solar term}} = 406,926 \frac{\text{kg } CO_2 \text{ eq}}{\text{año}}$$

$$\Delta CO_{2\text{cald biomasa}} = 5,28 \frac{\text{tm } CO_2 \text{ eq}}{\text{año}}$$

Lo que suma un ahorro de emisiones de GEI total de 7,2 tm de CO₂ equivalentes al año, y considerando un período de funcionamiento de 25 años para las tres instalaciones, se obtiene un ahorro total de 180 tm de CO₂ equivalentes.

En cuanto al ahorro en el consumo de combustibles fósiles, los resultados para las tres instalaciones son los siguientes.

$$m_{\text{carbon solar fot}} = 443,817 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$m_{GN\text{solar fot}} = 121,594 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$m_{GN\text{solar term}} = 148 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

$$m_{GN\text{cald biomasa}} = 1900 \frac{\text{kg}}{\text{año}}$$

Por lo que se obtiene un ahorro total anual de combustibles fósiles de 2169,6 kg de gas natural y 443,8 kg de carbón, y considerando el período de 25 años de funcionamiento de las instalaciones, se obtiene un ahorro de 54,24 tm de gas natural y 11,1 tm de carbón.

La reducción de emisiones a la atmósfera, así como la no utilización de combustibles fósiles para generar la energía necesaria, debe ser considerada una de las razones más importantes para considerar la implantación de estas instalaciones.

España se encuentra entre los países punteros en lo que se refiere a energías renovables, nuestra situación geográfica hace que este sea un lugar privilegiado para el uso de la energía solar debido al elevado número de horas de sol al año que posee, y además también estamos en muy buena situación en relación a potencia eólica instalada. Sin embargo, motivada en parte por la actual situación económica, la inversión en el avance e investigación de este tipo de energías carece del apoyo necesario tanto de la Administración como de las empresas privadas, lo que puede ralentizar a nuestro país en la evolución y despliegue de este tipo de soluciones energéticas.

5.5.2.- ANÁLISIS ECONÓMICO

En este apartado se determinó si el proyecto es viable económicamente o si por el contrario no es realizable debido a que no se recupera la inversión inicial realizada a lo largo de los años de vida de las instalaciones.

Para ello, se determinó cuál es el ahorro de combustible usando la instalación solar térmica y fotovoltaica o la caldera de biomasa en comparación con el uso exclusivo de la red eléctrica

nacional, en el caso de la instalación fotovoltaica, o de una caldera de gas natural convencional, para las instalaciones térmicas de ACS y calefacción. Obtuvimos cuál era el beneficio anual a lo largo de los años de vida de las instalaciones en función de la inversión inicial realizada y el ahorro de combustible.

Los datos de las inversiones iniciales a realizar en cada una de las instalaciones, así como el ahorro anual obtenido de la utilización de cada una de ellas, se presentan en la siguiente tabla.

Instalación	Inversión inicial	Ahorro anual
Instalación fotovoltaica con prima de producción	10900 €	4017 €
Instalación fotovoltaica sin prima de producción	10900 €	1228 €
Instalación solar térmica para ACS	2124 €	241,735 €
Caldera de biomasa	12100 €	466,82 €

Figura 5.9. Inversión inicial y ahorro anual de cada una de las instalaciones proyectadas.

A la vista de estas cifras, y considerando un tipo de interés del 9 %, obtenemos unos períodos de retorno de la inversión de 2 años para la instalación fotovoltaica considerando la prima de producción existente en el año 2007, 15 años sin tener en cuenta esta prima de producción y 14 años para la instalación solar térmica para ACS. En el caso de la caldera de biomasa, se obtuvo que resulta imposible recuperar la inversión inicial a lo largo de los 25 años de vida útil que se consideró para las instalaciones.

Estos resultados muestran como la prima de producción otorgada a las instalaciones fotovoltaicas estaba mal planteada, pues proporcionaba una rentabilidad excesiva a los propietarios de este tipo de tecnologías. Por otro lado vemos que las tecnologías solares han madurado mucho en los últimos años, lo que hace viable la implantación de estas tecnologías en ausencia de primas de producción, aunque el período de recuperación de las inversiones se sitúe en torno a los 15 años. En relación con las calderas de biomasa, se puede concluir que su implantación es todavía difícil en viviendas unifamiliares, obteniendo probablemente una mayor aceptación en la sustitución de grandes calderas de edificios, puesto que el ahorro obtenido es considerablemente mayor.

5.6.- CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS DEL PROYECTO

Al comienzo del presente proyecto, nos propusimos como objetivo principal el análisis y dimensionado de sistemas de generación de energía que puedan ser instalados en una vivienda unifamiliar situada en Madrid, que cubran la demanda de energía del edificio y que contribuyan a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Este objetivo, a su vez lo dividimos en tres objetivos secundarios, correspondientes a los pasos que se darían para lograr una valoración conjunta de estos sistemas de generación de energía, es decir, obtener los consumos del edificio, dimensionar las instalaciones, y realizar un análisis ambiental y económico.

Este objetivo podemos decir que se ha cumplido satisfactoriamente pues hemos desarrollado una instalación solar fotovoltaica para cubrir la demanda de electricidad, una instalación solar

térmica para cubrir la demanda de ACS y una instalación compuesta por una caldera de biomasa para la cobertura de la demanda de calefacción. Además, estos sistemas resultan generalmente de fácil implantación en las viviendas y ha quedado demostrado los beneficios que proporcionan, tanto medioambientales como económicos. Si bien es cierto que el resultado del análisis de rentabilidad económica para la caldera de biomasa no muestra un atractivo de esta tecnología, es indudable el beneficio medioambiental que proporciona, y por lo tanto será una forma de generación de energía que tendrá gran implantación en el futuro cuando las tecnologías maduren y se reduzcan los elevados costes iniciales.

Este proyecto supone un ejemplo más de la importancia que tiene la participación de la sociedad y de los pequeños inversores en el sector de las energías renovables, ya que supone una aportación de todos al cuidado del medioambiente y a la contribución del crecimiento de una sociedad energéticamente sostenible.

5.7.- TRABAJOS FUTUROS

El análisis que se ha llevado a cabo en este proyecto para el dimensionamiento del sistema de calefacción y refrigeración está basado en datos horarios de temperatura y humedad para un determinado año, y dada la elevada variabilidad del clima en nuestro país, una posible mejora del estudio realizado sería el obtener una media horaria de temperaturas y humedades de los últimos años para suavizar el efecto de temporales, rachas de frío polar o días muy calurosos. Por otro lado, no se ha considerado en este análisis las inercias térmicas, comportamiento que se acercaría mucho más a la realidad de nuestra instalación. Además, un diseño previo al dimensionamiento de las instalaciones que cubran las necesidades energéticas, enfocado al aislamiento más adecuado de la vivienda, puede ayudar a reducir el consumo de energía y a rentabilizar antes las instalaciones.

En el caso del dimensionamiento de la instalación solar para la cobertura de la demanda de ACS, este se ha hecho en base a los consumos obtenidos a partir valores medios mensuales de radiación y de temperaturas de red. Una mejora consistiría en tomar datos horarios de radiación y temperatura al igual que en el caso de cargas térmicas, así como incorporar al proceso de cálculo la velocidad del viento.

Por otro lado, en este proyecto se ha decidido cubrir la demanda de refrigeración con un equipo de refrigeración mecánica, alimentado de la red eléctrica; sin embargo, una alternativa a estudiar sería la implantación de una instalación de refrigeración basada en un ciclo de absorción, para la cuál sería necesario la instalación de un mayor número de paneles solares térmicos así como una máquina de absorción.

Finalmente, podría tenerse en cuenta, para el cálculo de las emisiones de GEI, las derivadas de la fabricación de los componentes necesarios para la instalación, teniendo algunas cierta importancia como las derivadas de la fabricación de las células fotovoltaicas.

6.- BIBLIOGRAFIA

- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. **“Plan de Energías Renovables 2011-2020”**.
[Consulta 06-07-2014] Disponible en:
http://ida.electura.es/publicacion/198/plan_energ%EF%BF%BDas_renovables_per_2011-2020.
- Foro Nuclear. **“Energía 2013”**. [Consulta 04-12-2013].
- WWF España. **“Informe de emisiones de GEI en España 1990-2012”**.
[Consulta 06-07-2014] Disponible en:
<http://www.wwf.es/?28370/WWF-pide-al-Gobierno-un-giro-renovable-de-la-politica-energetica-para-evitar-un-repunte-incontrolado-del-CO2>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. **“Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura”**.
[Consulta 06-07-2014] Disponible en:
http://ida.electura.es/publicacion/293/instalaciones_energ%EF%BF%BDa_solar_t%EF%BF%BDrmica_pliego_condiciones_t%EF%BF%BDcnicas_instalaciones_baja_temperatura
- Ministerio de Fomento. **“Código Técnico de la Edificación”**.
[Consulta 06-07-2014] Disponible en:
<http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. **“Biomasa”**.
[Consulta 06-07-2014] Disponible en:
<http://www.idae.es/index.php/idpag.233/reلمenu.321/mod.pags/mem.detalle>
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. **“RD 661/2007, de 25 de Mayo”**.
[Consulta 06-07-2014] Disponible en: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-10556>
- Incropera, F. P. y De Witt, D. P. **“Fundamentos de transferencia de calor”**. (Ed. Prentice Hall, 4ª edición). Año 1999.
- Duffie, J. A. y Beckmann, W. A. **“Solar Engineering of Thermal Processes”**. (Ed. John Wiley & Sons). Año 2006.
- Marcelo Izquierdo Millán. **“Apuntes de energías renovables”**.

- Antonio Soria Verdugo. **“Apuntes de calor y frío industrial”**.
- Antonio Lecuona Neumann. **“Apuntes de ingeniería energética”**.
- Jaime Alonso-Martínez. **“Apuntes de ingeniería energética”**.
- Antonio Soria Verdugo. **“Análisis de la instalación solar térmica y fotovoltaica de un edificio unifamiliar”**. Proyecto Fin de Carrera. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Ingeniería Térmica y de Fluidos. Año 2006.
- Chromagen Solar Water Solutions. **“Ficha técnica QR-D”**. [Consulta 06-07-2014] Disponible en:
<http://www.chromagen.es/category/descargas/>
- Chromagen Solar Water Solutions. **“Fichas técnicas Interacumuladores”**. [Consulta 06-07-2014] Disponible en: <http://www.chromagen.es/category/descargas/>
- SMA Solar Technology. **“Sunny Boy 3000TL/3600TL/4000TL/5000TL”**. [Consulta 06-07-2014] Disponible en:
<http://www.sma-iberica.com/es/productos/inversores-solares/sunny-boy/sunny-boy-3000tl-3600tl-4000tl-5000tl-con-reactive-power-control.html>
- Kyocera. **“Ficha técnica KD70SX-1P”**. [Consulta 06-07-2014] Disponible en:
<http://www.kyocerasolar.eu/index/products/download/Spanish.html>
- Viessmann. **“Datos técnicos Vitoglineno 300-P”**. [Consulta 06-07-2014] Disponible en:
http://www.viessmann.es/es/unifamiliar/productos/Biomasa/Vitoligno_300-P.html

ANEXOS

- 1. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS EQUIPOS INSTALADOS.**
- 2. PROGRAMAS MATHCAD.**
- 3. PLANOS DE LA VIVIENDA.**

1. HOJAS DE CARACTERÍSTICAS EQUIPOS INSTALADOS.



SB 3000TL-21 / SB 3600TL-21 / SB 4000TL-21 / SB 5000TL-21

Rentable

- Rendimiento máximo del 97 %
- Tecnología multistring en todas las clases de potencia
- Ahorro de costes por el menor número de strings paralelos
- Gestión de sombras mediante OptiTrac Global Peak

Flexible

- Tensión de entrada máxima (CC) de 750 voltios
- Funciones de gestión de red integradas y preparación de potencia reactiva

Sencillo

- Sin ventilador
- Montaje mural simplificado
- Sistema de conexión de CC SUNCLIX
- Conexión rápida y sin herramientas

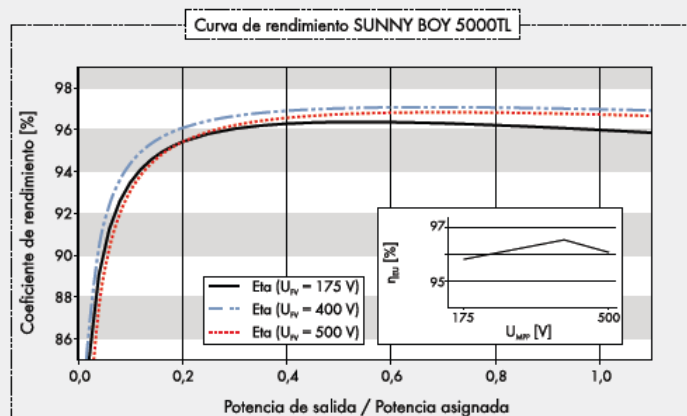
Comunicativo

- Fácil configuración por países
- Tecnología Bluetooth® de serie

SUNNY BOY 3000TL / 3600TL / 4000TL / 5000TL con Reactive Power Control (regulación de la potencia reactiva)

Como el antiguo. Pero nuevo. Sunny Boy de uso universal.

Todo son mejoras: el nuevo Sunny Boy sin transformador es la solución perfecta para generadores fotovoltaicos exigentes e instalaciones ubicadas parcialmente a la sombra. Como sucesor del exitoso Sunny Boy, la versión 20 ofrece toda una serie de ventajas adicionales: su implementación es más flexible; su rendimiento más eficiente y su manejo, más cómodo. Con la elevada tensión de CC de 750 V, se produce un ahorro de costes al emplear menos strings paralelos. Además, gracias a las funciones integradas de gestión de la red, los equipos pueden emplearse de forma universal y contribuyen decisivamente al apoyo de la red.



Accesorios



¹ No válido para todos los apéndices nacionales de la norma EN 50438

² 4600 VA para VDE-AR-N 4105 ³ 4825 W para VDE-AR-N 4105

⁴Solo SB 3600TL-21, SB 5000TL-21

Datos técnicos		Sunny Boy 4000TL	Sunny Boy 5000TL
Entrada (CC)			
Potencia máxima de CC (con cos φ=1)		4200 W	5250 W³
Tensión de entrada máx.		750 V	750 V
Rango de tensión MPP / tensión asignada de entrada		175 V – 500 V / 400 V	175 V – 500 V / 400 V
Tensión de entrada mín. / de inicio		125 V / 150 V	125 V / 150 V
Corriente máx. de entrada (entrada A / B)		15 A / 15 A	15 A / 15 A
Corriente máx. de entrada por string (entrada A / B)		15 A / 15 A	15 A / 15 A
Número de entradas de punto de máxima potencia (MPP) independientes / strings por entrada de punto de máxima potencia (MPP)		2 / A:2; B:2	2 / A:2; B:2
Salida (CA)			
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)		4000 W	4600 W
Potencia aparente de CA máxima		4000 VA	5000 VA²
Tensión nominal de CA / rango		220 V, 230 V, 240 V / 180 V-280 V	220 V, 230 V, 240 V / 180 V-280 V
Frecuencia de red de CA / rango		50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -5 Hz ... +5 Hz
Frecuencia / tensión asignadas de red		50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Corriente máx. de salida		22 A	22 A
Factor de potencia a potencia asignada		1	1
Factor de desfase ajustable		0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo	0,8 inductivo ... 0,8 capacitivo
Fases de inyección / conexión		1 / 1	1 / 1
Rendimiento			
Rendimiento máx. / europeo		97 % / 96,4 %	97 % / 96,5 %
Dispositivos de protección			
Punto de desconexión en el lado de entrada		●	●
Monitorización de toma a tierra / de red		● / ●	● / ●
Protección contra polarización inversa (CC) / resistencia al cortocircuito (CA) / con separación galvánica		● / ● / –	● / ● / –
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal		●	●
Clase de protección (según IEC 62103) / categoría de sobretensión (según IEC 60664-1)		I / III	I / III
Datos generales			
Dimensiones (ancho / alto / fondo)		490 / 519 / 185 mm (19.3 / 20.4 / 7.3 in)	
Peso		26 kg (57,3 lb)	26 kg (57,3 lb)
Rango de temperatura de servicio		-25 °C...+60 °C(-13 °F...+140 °F)	-25 °C...+60 °C(-13 °F...+140 °F)
Emisiones de ruido, típicas		25 dB(A)	25 dB(A)
Autoconsumo (nocturno)		1 W	1 W
Topología		Sin transformador	Sin transformador
Sistema de refrigeración		Convección	Convección
Tipo de protección (según IEC 60529)		IP65	IP65
Clase climática (según IEC 60721-3-4)		4K4H	4K4H
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)		100 %	100 %
Características			
Conexión de CC / Conexión de CA		SUNCLIX / Borne de conexión por resorte	SUNCLIX / Borne de conexión por resorte
Pantalla		Gráfico	Gráfico
Interfaz: RS485 / Bluetooth® / Speedwire/Webconnect		○ / ● / ○	○ / ● / ○
Relé multifunción / Power Control Module		○ / ○	○ / ○
Garantía: 5 / 10 / 15 / 20 / 25 años		● / ○ / ○ / ○ / ○ / ○	
Certificados y autorizaciones (otros a petición)		AS 4777, C10/11, CE, CEI 0-21, EN 50438¹, G59/2, G83/1-1, IEC 61727, MEA⁴, NRS 097-2-1, PEA⁴, PPC, PPDS, RD1699, RD 661, UTE C15-712, VDE-AR-N 4105, VDE0126-1-1	
● De serie ○ Opcional – No disponible, Datos en condiciones nominales			
Modelo comercial		SB 4000TL-21	SB 5000TL-21

We care! Since 1975.

KD70SX-1P

Módulos de alto rendimiento fotovoltaicos policristalinos



Solar Home System, Marruecos

TECNOLOGÍA PUNTA

► Celúla:

- 78 mm x 156 mm
- Policristalina, 3 busbar
- Nivel de eficiencia > 16 %
- Integrado en lámina EVA
- Procedimiento RIE patentado: mínima reflexión de la luz, color oscuro homogéneo

► Bastidor:

- Aluminio anodizado revestido
- Atomillado y adicionalmente encolado
- Capacidad de carga: 2.400 N/m²
- Aberturas de drenaje contra daños por heladas
- Montaje flexible (transversal o vertical)

► Caja de empalme:

- Incl. diodos derivadores
- Diodos derivadores Si p/n resistentes a la sobretensión
- Caja de empalme adicional para una instalación flexible

► Emparejado:

- Proceso de clasificación: se logra la potencia nominal de dos módulos emparejados (≥ 140 Wp con dos KD70SX-1P)

► Producción:

- Procesos de producción totalmente automatizados e integrados en plantas propias
- No se compran productos intermedios
- 100 % control final

► Asistencia:

- Servicio de asistencia al cliente en toda Europa, desde Esslingen, Alemania

LA COMPAÑÍA

Kyocera Solar es una de las pioneras del sector fotovoltaico y tiene más de 35 años de experiencia. Desde entonces que participamos en numerosas soluciones avanzadas en todo el mundo. La innovación y la calidad son lo que más nos importa.

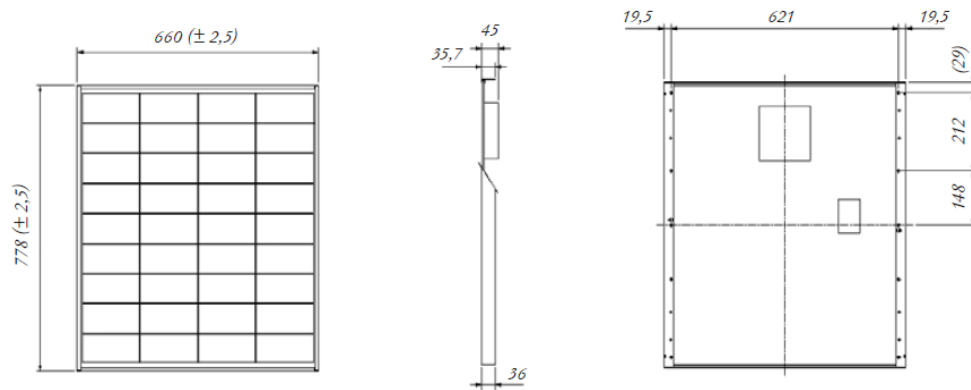
Nuestra meta es hacer que la energía solar sea accesible para todas las personas, procurando así un aprovisionamiento de energía ampliamente difundido y sostenible.

TUVdotCOM Service: plataforma en Internet para calidad y seguridad comprobada
TUVdotCOM-ID: 0000023574
IEC 61215 ed. 2, IEC 61730 y Categoría de protección II
Kyocera es una empresa certificada según ISO 9001, ISO 14001 y OHSAS18001.



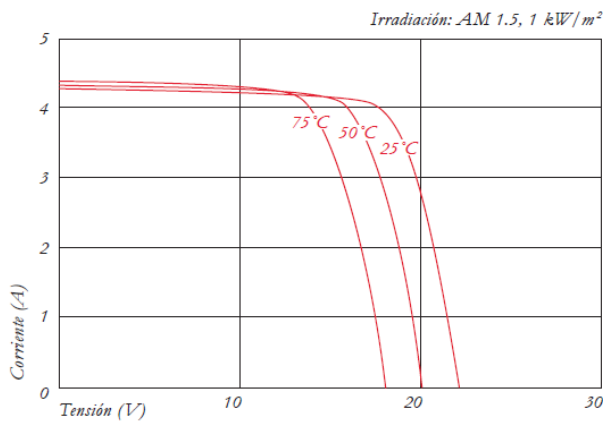
ESPECIFICACIONES

en mm

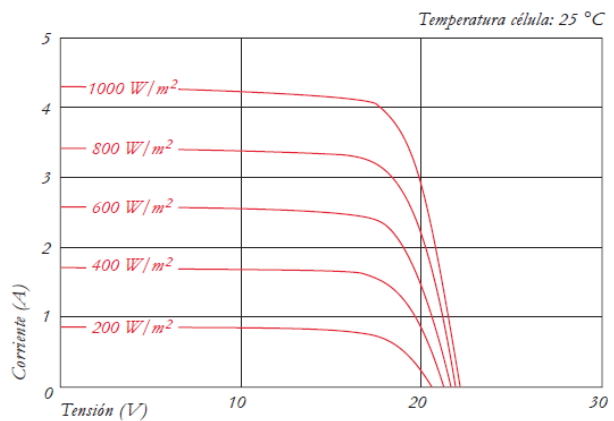


CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Curva característica de tensión y corriente a distintas temperaturas de la célula



Curva característica de tensión y corriente con distinta irradiación



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Tipo de módulo PV	KD70SX-1P	
A 1000 W/m² (STC)*		
Potencia nominal P	[W]	70
Tensión máxima del sistema	[V]	750
Tensión de máxima potencia	[V]	17,9
Corriente de máxima potencia	[A]	3,92
Tensión de circuito abierto	[V]	22,1
Corriente de cortocircuito	[A]	4,3
Nivel de eficiencia	[%]	13,6

A 800 W/m² (NOCT)**

Potencia nominal P	[W]	49
Tensión de máxima potencia	[V]	15,8
Corriente de máxima potencia	[A]	3,13
Tensión de circuito abierto	[V]	19,9
Corriente de cortocircuito	[A]	3,50
NOCT	[°C]	49

Tolerancia de potencia	[%]	+10 / -5
Resistencia a la corriente inversa I _R	[A]	8
Protección máx. del string	[A]	8
Coefficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto	[%/K]	-0,36
Coefficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito	[%/K]	0,06
Coefficiente de temperatura a P _{max}	[%/K]	-0,45
Reducción del nivel de eficacia de 1000 W/m² a 200 W/m²	[%]	4,3

MEDIDAS

Longitud	[mm]	778 (±2,5)
Ancho	[mm]	660 (±2,5)
Altura/incl. caja de contacto	[mm]	36/45
Peso	[kg]	6,5
Tipo de conexión	bornes atornillables	
Caja de contacto	[mm]	140 × 150 × 37,2
Número de diodos derivadores	2	
Código IP	IP65	

CÉLULAS

Cantidad por módulo	36	
Tecnología celular	polycristalina	
Tamaño celular (cuadrado)	[mm]	78 × 156
Conexión de células	3 busbar	

DATOS GENERALES

Garantía de rendimiento	10*** / 20 años ****	
Garantía	5 años *****	

* Los índices eléctricos son válidos en condiciones de prueba estándar (STC): Irradiación de 1000 W/m², masa de aire AM 1.5 y temperatura celular de 25°C

** Los índices bajo temperatura operativa nominal de las células (NOCT): Irradiación de 800 W/m², masa de aire AM 1.5, velocidad del viento de 1 m/s y temperatura ambiente de 20°C

*** 10 años el 90% de la potencia mínima especificada P bajo condiciones de prueba normalizadas (STC)

**** 20 años el 80% de la potencia mínima especificada P bajo condiciones de prueba normalizadas (STC)

***** En el caso de países dentro de Europa

Su distribuidor Kyocera local:

European Headquarter:

KYOCERA Fineceramics GmbH
Solar Division
Fritz-Mueller-Straße 27
73730 Esslingen/Alemania
Tel: +49 (0)711-93 93 49 99
Fax: +49 (0)711-93 93 49 50
E-Mail: solar@kyocera.de
www.kyocerasolar.de

Sales Office Spain:

KYOCERA Fineceramics GmbH
Spain Branch I Solar Division
Avda. Manacor, 2
28290 Las Matas Madrid/España
Tel: +34 91 63 18 392
Fax: +34 91 63 18 219
E-Mail: solar@kyocera.de
www.kyocerasolar.es

José Antonio Torres Lafuente

107

Captador Solar de alta eficiencia - Línea Pro

QR - D

Dimensiones y Pesos

Largo Total	1.900 mm	Peso en vacío	31 Kg
Ancho Total	1.090 mm	Capacidad del fluido	1,2 l
Fondo	90 mm	Fluido caloportador	agua ó agua glicolada
Área Total	2,10 m ²	Tª de estancamiento	165 °C
Área de Apertura	1,87 m ²	Flexión máxima del captador	1.000 Pa
Área del Absorbedor	1,77 m ²		



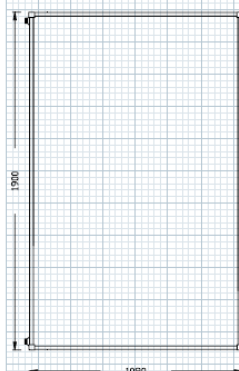
Código Chromagen: CGAS007

Presiones de prueba y caudal recomendado

Presión de timbre	14 bar
Presión máxima de trabajo	10 bar
Caudal recomendado	45 l/h-m2
Caída de presión (mm.c.a.)	3,0-qi ² +3,95-qi (l/min)

Calidades de fabricación

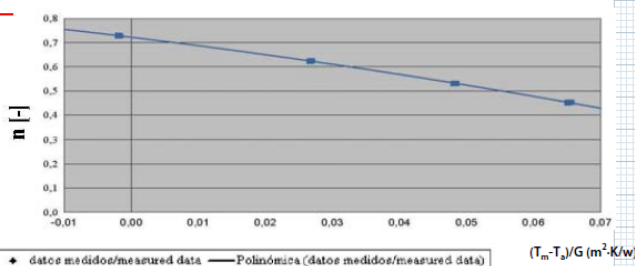
Absorbedor:	Aleta de aluminio soldada por láser a parrilla de conductos de cobre. Recubrimiento de pintura solar selectiva. Absortividad 0,95 y Emisividad 0,45
Aislamiento:	Capa de poliuretano rígido inyectado de 25mm de espesor.
Vidrio Solar:	Panel único de vidrio solar de 3,2mm de espesor rodeado por una junta de goma de EPDM.
Parrilla de tubos:	Cobre de 8mm de diámetro conectada a tuberías colectoras de 22mm
Dorso:	Polipropileno negro moldeado.
Lámina de aluminio:	Adherida al aislamiento actúa como barrera contra pérdidas de calor por el dorso del captador.
Carcasa:	Acero Galvanizado lacado epoxidicamente en gris.
Conexiones roscadas:	Conexiones hembra roscadas de 3/4" de bronce



Curva de rendimiento térmico y certificaciones

$\eta_0 = 69,6 \%$
 $k_1 = 4,821 \text{ W/m}^2\text{-K}$
 $k_2 = 0,015 \text{ W/m}^2\text{-K}^2$

Ajuste de la curva de eficiencia cuadrática para los datos medidos en el ensayo respecto al área de apertura y la temperatura media del fluido.
Adjustment of the quadratic efficiency curve for the measured data in the test regarding aperture area and the mean temperature of the fluid



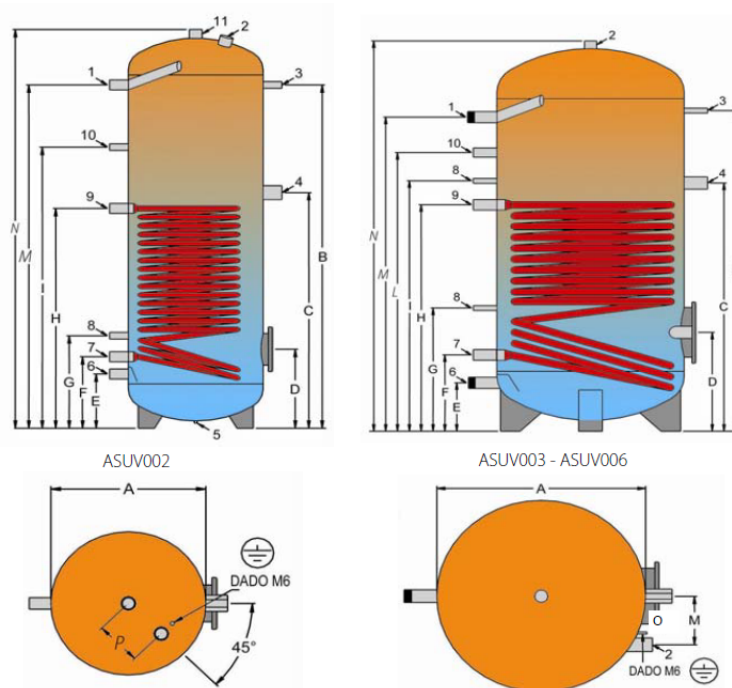
CHROMAGEN ESPAÑA S.L.
Calle Diseño 6, Parque Industrial P.I.S.A. • 41927 Mairena del Aljarafe • Sevilla (ESPAÑA)
TEL. 954 184 541 / 670 506 297 • FAX. 955 600 457 • sevilla@chromagen.es
www.chromagen.es

Interacumulador

Depósito interacumulador construido en acero al carbono con revestimiento interno idóneo para instalaciones de A.C.S., según normativa DIN 4753-3. Se suministra con sistema de protección anódica y aislamiento estándar de poliuretano flexible de 100mm. Terminación exterior con funda de skay.

Conexiones

- 1 Salida de agua caliente sanitaria
- 2 Anodo magnesio
- 3 Termómetro - sonda
- 4 Conexión para resistencia eléctrica
- 5 Vaciado
- 6 Entrada agua fría red
- 7 Salida de intercambiador
- 8 Termostato
- 9 Entrada de intercambiador
- 10 Recirculación
- 11 Salida de agua caliente sanitaria



Dimensiones (mm)

Modelo	A	B	C	D	E	F	G	H	I	L	M	N	O	P
ASUV002	650	1425	960	365	265	345	440	880	1170	-	1415	1690	-	150
ASUV003	790	1465	935	435	210	335	535	875	1145	1275	1435	1780	200	-
ASUV006	790	1720	1085	440	210	350	510	985	1395	1535	1700	2030	200	-

Conexiones

Modelo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ASUV002	1"	1" 1/4	1/2"	1" 1/2	1/2"	1"	1"	1/2"	1"	1/2"	1" 1/4
ASUV003	1" 1/4	1" 1/2	1/2"	1" 1/2	-	1" 1/4	1" 1/4	1/2"	1" 1/4	1"	-
ASUV006	1" 1/4	1" 1/2	1/2"	1" 1/2	-	1" 1/4	1" 1/4	1/2"	1" 1/4	1"	-

Intercambiador

Modelo	Volumen (l)	Peso (Kg)	S _{intercambio} (m ²)	Capacidad (l)
ASUV002	500	155	1,8	11,4
ASUV003	750	215	2	12,6
ASUV006	1000	245	2,4	15,1

Depósito		Serpentín	
P diseño	T diseño	P diseño	T diseño
10 bar	95°C	6 bar	95°C

CHROMAGEN ESPAÑA S.L

Calle Diseño 6, Parque Industrial P.I.S.A. - 41927 Mairena del Aljarafe - Sevilla (ESPAÑA)
TEL. 954 184 541 / 670 506 297 - FAX. 955 600 457 - sevill@chromagen.es
www.chromagen.es

Hoja de datos técnicos



Artículos y precios: véase el listado de precios



Vitoligno 300-P

Caldera de pellet de madera

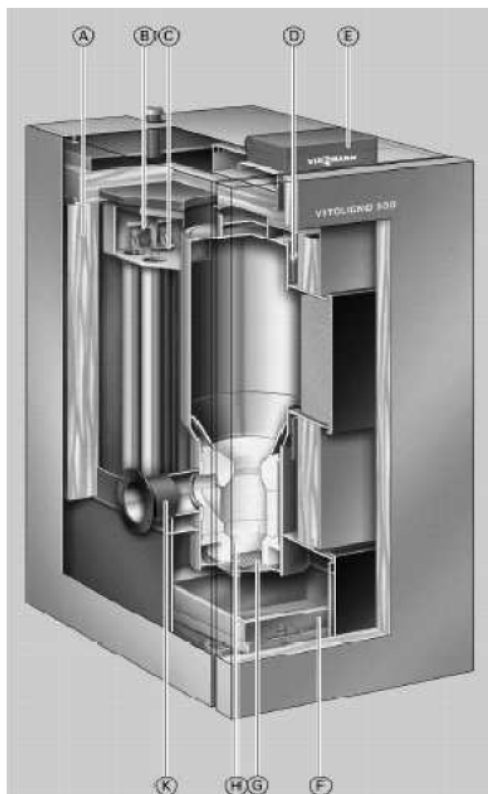
Versión con carga manual

Versión con carga automática mediante sistema de aspiración

Versión con carga automática mediante sinfín flexible

De 4 a 48 kW

Descripción del producto: Vitoligno 300-P



- a) Aislamiento térmico de alta eficiencia
- b) Limpieza automática del intercambiador térmico
- c) Variopass: adaptación de la superficie a la demanda térmica
- d) Dispositivo de aumento de la temperatura de salida
- e) Regulación Vitotronic
- f) Contenedor de ceniza integrado
- g) Parrilla de laminas giratorias
- h) Cámara de combustión de refractario de alta resistencia
- k) Toma embridada de entrada de pellet.

- La caldera de pellet Vitoligno 300-P, gracias a su amplio campo de modulación 1:3 ofrece un amplio espectro de usos, tanto para hogares con pocas necesidades energéticas como para los edificios con grandes demandas térmicas.
- Gracias a su regulación con sonda lambda y sonda de temperatura, Viessmann ha desarrollado una caldera de pellet de alto rendimiento con unas emisiones de CO_2 y emisión de partículas en suspensión especialmente baja. La limpieza automática de las superficies de intercambio térmico garantiza un rendimiento elevado en todo momento.
- Aparte de la extracción de ceniza de la cámara de combustión, a través de la rejilla de láminas, la caldera resulta muy cómoda en la función de calefacción y permite reducir al mínimo los costes de mantenimiento y de limpieza.
- Gracias a la adaptación de las superficies de intercambio térmico a las demandas de calor (principio Variopass) se garantiza el funcionamiento eficiente de la caldera incluso con carga parcial.

Datos técnicos: Vitoligno 300-P

Margen de potencia térmica nominal	kW	de 4 a 12	de 6 a 18	de 8 a 24	de 11 a 32	de 13 a 40	de 16 a 48
Temperatura de impulsión							
– admisible ^{*1}	°C	100	100	100	100	100	100
– máxima ^{*2}	°C	75	75	75	75	75	75
– mínima	°C	60	60	60	60	60	60
Temperatura de retorno mínima							
– en funcionamiento con depósito de inercia de agua de calefacción	°C	45	45	45	45	45	45
– en funcionamiento sin depósito de inercia de agua de calefacción	°C	35	35	35	35	35	35
Presión de servicio adm.							
Calderas	bar	3	3	3	3	3	3
Homologación CE conforme a directiva sobre maquinaria		CE					
Clase de caldera según la norma DIN EN 303-5		3	3	3	3	3	3
Dimensiones							
Longitud total h	mm	1065	1065	1065	1170	1170	1170
Anchura total d (caldera)	mm	680	680	680	780	780	780
Anchura total (caldera con depósito de pellets)	mm	1160	1160	1160	1360	1360	1360
Anchura total (caldera con unidad de conexión con tornillo flexible sin fin)	mm	1035	1035	1035	1130	1130	1130
Altura total b (caldera)	mm	1485	1485	1485	1710	1710	1710
Altura total g (depósito de pellets)	mm	1780	1780	1780	1910	1910	1910
Medidas de introducción							
– con embalaje de seguridad	mm	915 x 765 x 1640			1015 x 865 x 1865		
– sin embalaje de seguridad	mm	830 x 675 x 1410			935 x 775 x 1635		
Peso total							
– Caldera con aislamiento térmico	kg	355	355	355	527	527	527
– Caldera con aislamiento térmico y depósito de pellets completo	kg	453	453	453	631	631	631
– Caldera con aislamiento térmico y unidad de conexión de tornillo sin fin flexible	kg	387	387	387	571	571	571
Peso de transporte							
– Caldera sin embalaje de seguridad y sin depósito de pellets o unidad de conexión de tornillo sin fin flexible	kg	303	303	303	446	446	446
Potencia eléctrica máx. consumida							
– Durante el encendido	W	350	350	350	370	370	400
– En el servicio de calefacción	W	62	65	68	95	105	120
– Alimentación de pellets (sistema neumático)	W	1960	1960	1960	1960	1960	1960
Volumen de agua de la caldera							
	l	100	100	100	180	180	180
Conexiones de la caldera							
Impulsión y retorno de caldera, y toma de seguridad (válvula de seguridad)	G	1½	1½	1½	1½	1½	1½
Retorno de seguridad y vaciado	R	¾	¾	¾	¾	¾	¾
Humos^{*3}							
Temperatura media (bruta^{*4})							
– Con la potencia térmica máxima	°C	125	125	125	130	130	135
– Con carga parcial (33% de la potencia térmica máxima)	°C	70	70	70	75	75	80
Caudal másico:							
– Con la potencia térmica máxima	kg/h	31	46	65	82	105	124
– Con carga parcial (33% de la potencia térmica máxima)	kg/h	9	11	15	19	24	29
Contenido de CO ₂ en los humos	%	12	12	12	12	12	12
Toma de salida de humos							
	Ø mm	130	130	130	150	150	150
Tiro necesario (con carga total)							
	Pa	5	5	5	5	5	5
	mbar	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Presión de impulsión adm. máx.^{*5}							
	Pa	15	15	15	15	15	15

^{*1} Temperatura de apagado del termostato de seguridad.

^{*2} Temperatura ajustable en la regulación.

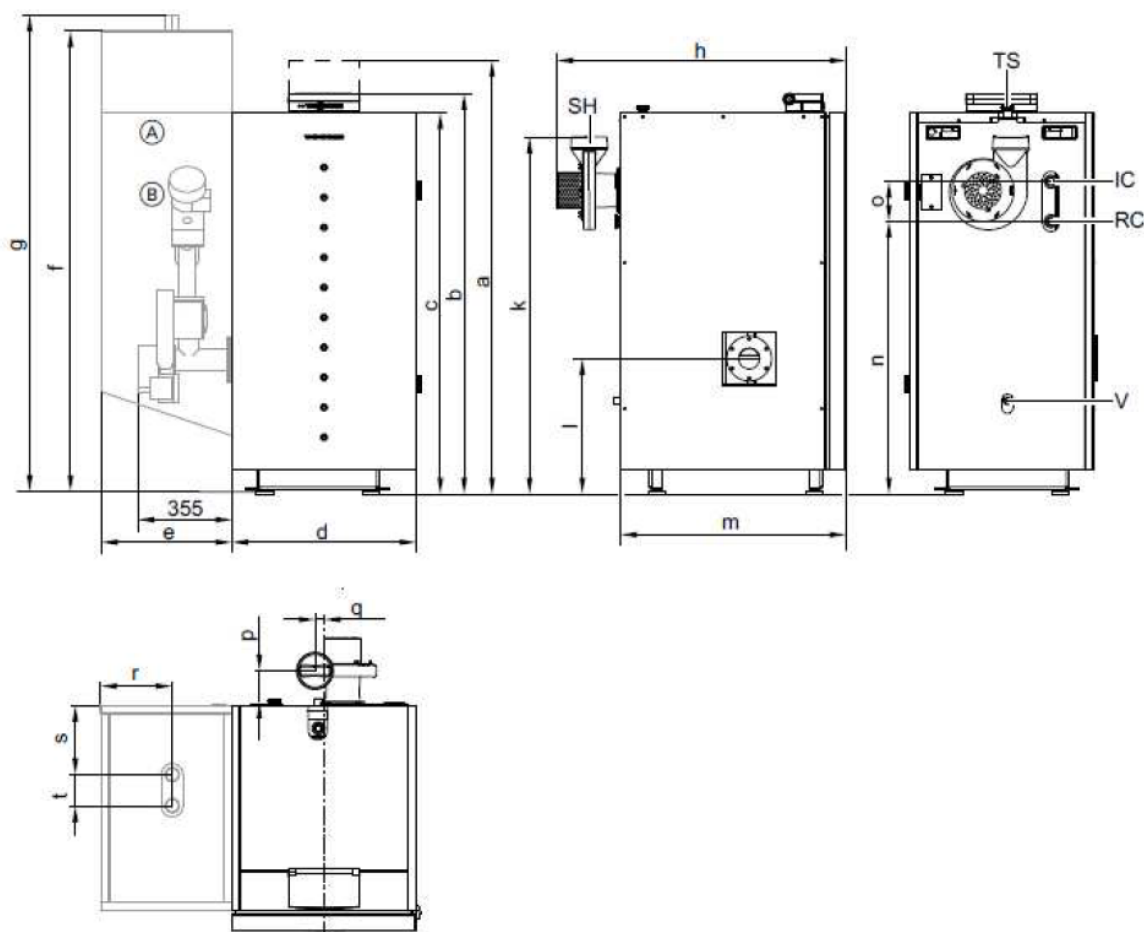
^{*3} Valores de cálculo para el dimensionado del sistema de salida de humos según DIN EN 13384.

^{*4} Temperatura de humos medida como valor bruto medio según la norma EN 304, con el aire de combustión a 20°C.

^{*5} En la chimenea debe instalarse un limitador de tiro.

Datos técnicos Vitoligno 300-P (sigue)

Margen de potencia térmica nominal	kW	de 4 a 12	de 6 a 18	de 8 a 24	de 11 a 32	de 13 a 40	de 16 a 48
	mbar	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Rendimiento							
- Con carga total	%	94,5	94,4	94,7	94,3	94,6	94,2
- Con carga parcial	%	95,3	95,7	96,6	95,4	95,3	95,8



- (A) Depósito de pellets
 (B) Unidad de conexión con alimentación de pellets con tornillo sin fin flexible (orientable 90 °)
 SH Salida de humos

- CONV Vaciado R $\frac{3}{4}$ y depósito de expansión
 RC Retorno de caldera G1 $\frac{1}{2}$
 IC Impulsión de caldera G1 $\frac{1}{2}$
 TS Toma de seguridad (válvula de seguridad) G1 $\frac{1}{2}$

Margen de potencia térmica útil en kW	de 4 a 12 de 6 a 18 de 8 a 24	de 11 a 32 de 13 a 40 de 16 a 48
a en mm	1590	1815
b en mm	1485	1710
c en mm	1412	1636
d en mm	680	780
e en mm	482	582
f en mm	1712	1851
g en mm	1780	1910
h en mm	1065	1170
k en mm	1323	1539
l en mm	510	590
m en mm	828	930
n en mm	1014	1238
o en mm	145	145
p en mm	115	115
q en mm	34	23

Margen de potencia térmica útil en kW	de 4 a 12 de 6 a 18 de 8 a 24	de 11 a 32 de 13 a 40 de 16 a 48
r en mm	262	296
s en mm	254	333
t en mm	114	114

Medida a: Altura total con regulación de la posición de manejo
 Alturas: Indicaciones con altura de soporte regulable de 30 mm

2. PROGRAMAS MATHCAD.

1.- ESTUDIO CONDUMO DEL EDIFICIO

Características constructivas de la vivienda:

$A_{\text{salon}} := 42 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{m_salon}} := 23.728 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{vent_salon}} := 0 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{p_salon}} := 5 \cdot \text{m}^2$
$A_{\text{baño1}} := 8.2944 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{m_baño1_ext}} := 7.322 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{vent_baño1}} := 0.35 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{p_baño1}} := 0 \cdot \text{m}^2$
	$A_{\text{m_baño1_gar}} := 8.064 \cdot \text{m}^2$		
$A_{\text{cocina}} := 15.52 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{m_cocina}} := 22.934 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{vent_cocina}} := 1.65 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{p_cocina}} := 0 \cdot \text{m}^2$
$A_{\text{dorm1}} := 14.64 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{m_dorm1}} := 12.778 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{vent_dorm1}} := 1.95 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{p_dorm1}} := 0 \cdot \text{m}^2$
$A_{\text{dorm2}} := 14.0544 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{m_dorm2}} := 13.842 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{vent_dorm2}} := 1.95 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{p_dorm2}} := 0 \cdot \text{m}^2$
$A_{\text{dorm3}} := 19.4 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{m_dorm3}} := 19.578 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{vent_dorm3}} := 1.95 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{p_dorm3}} := 0 \cdot \text{m}^2$
$A_{\text{baño2}} := 9.2944 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{m_baño2}} := 18.242 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{vent_baño2}} := 0.35 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{p_baño2}} := 0 \cdot \text{m}^2$
$A_{\text{vestibulo}} := 25.56 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{m_vestibulo_ext}} := 5.144 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{vent_vestibulo}} := 0 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{p_vestibulo}} := 1.8 \cdot \text{m}^2$
	$A_{\text{m_vestibulo_gar}} := 5.6 \cdot \text{m}^2$		
$A_{\text{garaje}} := 14.4 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{m_garaje}} := 24.248 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{vent_garaje}} := 0 \cdot \text{m}^2$	$A_{\text{p_garaje}} := 8.4 \cdot \text{m}^2$

Situación: Madrid (Zona climática D3)

Suelo:

Muro exterior:

$e_{\text{cem}} := 0.015 \cdot \text{m}$	$k_{\text{cem}} := 1.3 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{lad}} := 0.09 \cdot \text{m}$	$k_{\text{lad}} := 0.52 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{pol}} := 0.05 \cdot \text{m}$	$k_{\text{pol}} := 0.033 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{yeso}} := 0.015 \cdot \text{m}$	$k_{\text{yeso}} := 0.3 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

$e_{\text{mad}} := 0.02 \cdot \text{m}$	$k_{\text{mad}} := 0.18 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{HDPE}} := 0.001 \cdot \text{m}$	$k_{\text{HDPE}} := 0.5 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{XPS}} := 0.02 \cdot \text{m}$	$k_{\text{XPS}} := 0.034 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{horm_arm}} := 0.35 \cdot \text{m}$	$k_{\text{horm_arm}} := 2.3 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{arena}} := 0.2 \cdot \text{m}$	$k_{\text{arena}} := 0.15 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

Cubierta:

$e_{\text{horm}} := 0.05 \cdot \text{m}$	$k_{\text{horm}} := 1.16 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{bov}} := 0.25 \cdot \text{m}$	$k_{\text{bov}} := 1.39 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{pe}} := 0.08 \cdot \text{m}$	$k_{\text{pe}} := 0.033 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{yeso_t}} := 0.02 \cdot \text{m}$	$k_{\text{yeso_t}} := 0.3 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

Ventanas:

$e_{\text{vidrio}} := 0.006 \cdot \text{m}$	$k_{\text{vidrio}} := 0.55 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{aire}} := 0.012 \cdot \text{m}$	$k_{\text{aire}} := 0.027 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

Puertas:

$e_{\text{madera1}} := 0.01 \cdot \text{m}$	$k_{\text{madera1}} := 0.064 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{acero}} := 0.02 \cdot \text{m}$	$k_{\text{acero}} := 58 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$
$e_{\text{madera2}} := 0.015 \cdot \text{m}$	$k_{\text{madera2}} := 0.064 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$

Cargas de calefacción:

Temperaturas interiores y exteriores:

$$T_I := (21 + 273) \cdot K \quad (\text{RITE Pag 15}) \quad (\text{Para invierno})$$

$$t_e :=$$



D:\...\temperatura_exterior.txt

$$T_E := (t_e + 273) K$$

Humedades interiores y exteriores:

$$\phi_I := 0.4 \quad (\text{RITE Pag 15}) \quad (\text{Para invierno})$$

$$\Phi_E :=$$



(En porcentaje)

...\humedad_relativa.txt

$$\phi_E := \frac{\Phi_E}{100}$$

$$i := 0.. \text{rows}(T_E) - 1$$

$$\text{ini}_{\text{ver}} := 2880 \quad (1 \text{ de Mayo})$$

$$\text{fin}_{\text{ver}} := 6552 \quad (30 \text{ de Septiembre})$$

$$\text{ver} := \text{ini}_{\text{ver}}.. \text{fin}_{\text{ver}}$$

$$\text{cal}_1 := 0.. \text{ini}_{\text{ver}} - 1$$

$$\text{cal}_2 := (\text{fin}_{\text{ver}} + 1).. \text{rows}(T_E) - 1$$

$$n_i := \text{ceil}\left(\frac{i + 1}{24}\right)$$

$$\text{ho} := 0.. 23$$

$$\text{hora}_{\text{ho}} := \text{ho}$$

$$h := \begin{cases} h \leftarrow \text{hora} \\ \text{for } j \in 0.. 363 \\ h \leftarrow \text{stack}(h, \text{hora}) \\ h \end{cases}$$

$$\Delta t := 1 \text{ hr} \quad \text{incremento de tiempo}$$

Cargas de Transmisión:

Suelo:

$$R_{\text{CEs_cal}} := 0 \cdot \frac{\text{m}^2 \cdot K}{W} \quad (\text{Documento básico HE, apéndice E, tabla E1})$$

(Pag HE1-35)

$$R_{\text{CIs_cal}} := 0.17 \cdot \frac{\text{m}^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{\text{Ts_cal}} := R_{\text{CIs_cal}} + \frac{e_{\text{mad}}}{k_{\text{mad}}} + \frac{e_{\text{HDPE}}}{k_{\text{HDPE}}} + \frac{e_{\text{XPS}}}{k_{\text{XPS}}} + \frac{e_{\text{horm_arm}}}{k_{\text{horm_arm}}} + \frac{e_{\text{arena}}}{k_{\text{arena}}} + R_{\text{CEs_cal}} = 2.357 \cdot \frac{\text{m}^2 \cdot K}{W}$$

$$U_s := \frac{1}{R_{Ts_cal}} = 0.424 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Comprobamos si cumple con el CTE: $U_{s_lim} := 0.49 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (Tabla sección HE1 del documento básico HE)
(Zona climática D3, pag HE1-7)

$$T_{terreno} := 283 \cdot K$$

$$Q_{cal_Ts_salon} := U_s \cdot A_{salon} \cdot (T_I - T_{terreno}) = 196.024 \text{ W}$$

$$Q_{cal_Ts_baño1} := U_s \cdot A_{baño1} \cdot (T_I - T_{terreno}) = 38.712 \text{ W}$$

$$Q_{cal_Ts_cocina} := U_s \cdot A_{cocina} \cdot (T_I - T_{terreno}) = 72.436 \text{ W}$$

$$Q_{cal_Ts_dorm1} := U_s \cdot A_{dorm1} \cdot (T_I - T_{terreno}) = 68.328 \text{ W}$$

$$Q_{cal_Ts_dorm2} := U_s \cdot A_{dorm2} \cdot (T_I - T_{terreno}) = 65.595 \text{ W}$$

$$Q_{cal_Ts_dorm3} := U_s \cdot A_{dorm3} \cdot (T_I - T_{terreno}) = 90.544 \text{ W}$$

$$Q_{cal_Ts_baño2} := U_s \cdot A_{baño2} \cdot (T_I - T_{terreno}) = 43.379 \text{ W}$$

$$Q_{cal_Ts_vestibulo} := U_s \cdot A_{vestibulo} \cdot (T_I - T_{terreno}) = 119.295 \text{ W}$$

$$Q_{cal_Ts} := Q_{cal_Ts_salon} + Q_{cal_Ts_baño1} + Q_{cal_Ts_cocina} + Q_{cal_Ts_dorm1} + Q_{cal_Ts_dorm2} + Q_{cal_Ts_dorm3} + Q_{cal_Ts_baño2} + Q_{cal_Ts_vestibulo} = 694.313 \text{ W}$$

$$Q_{cal_Tsuel_cal_1} := Q_{cal_Ts}$$

$$Q_{cal_Tsuel_ver} := 0 \text{ W}$$

$$Q_{cal_Tsuel_cal_2} := Q_{cal_Ts}$$

Cubierta:

$$R_{CEc_cal} := 0.04 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \text{(Documento básico HE, apéndice E, tabla E1)} \\ \text{(Pag HE1-35)}$$

$$R_{CIc_cal} := 0.1 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{Tc_cal} := R_{CIc_cal} + \frac{e_{yeso_t}}{k_{yeso_t}} + \frac{e_{pe}}{k_{pe}} + \frac{e_{bov}}{k_{bov}} + \frac{e_{hom}}{k_{hom}} + R_{CEc_cal} = 2.854 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$U_{c_cal} := \frac{1}{R_{Tc_cal}} = 0.35 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Comprobamos que este valor cumple con el CTE: $U_{c_lim} := 0.38 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (Tabla sección HE1 del documento básico HE)
(Zona climática D3, pag HE1-7)

$$Q_{cal_Tc_salon} := U_{c_cal} \cdot A_{salon} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tc_baño1} := U_{c_cal} \cdot A_{baño1} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tc_cocina} := U_{c_cal} \cdot A_{cocina} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tc_dorm1} := U_{c_cal} \cdot A_{dorm1} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tc_dorm2} := U_{c_cal} \cdot A_{dorm2} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tc_dorm3} := U_{c_cal} \cdot A_{dorm3} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tc_baño2} := U_{c_cal} \cdot A_{baño2} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tc_vestibulo} := U_{c_cal} \cdot A_{vestibulo} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tc} := Q_{cal_Tc_salon} + Q_{cal_Tc_baño1} + Q_{cal_Tc_cocina} + Q_{cal_Tc_dorm1} + Q_{cal_Tc_dorm2} + Q_{cal_Tc_dorm3} + Q_{cal_Tc_baño2} + Q_{cal_Tc_vestibulo}$$

$$Q_{cal_Tc_ver} := 0W$$

Muros:

$$R_{CEm_cal} := 0.04 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \begin{array}{l} \text{(Documento básico HE, apéndice E, tabla E1)} \\ \text{(Pag HE1-35)} \end{array}$$

$$R_{CIIm_cal} := 0.13 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{Tm_cal} := R_{CIIm_cal} + \frac{e_{yeso}}{k_{yeso}} + \frac{e_{lad}}{k_{lad}} + \frac{e_{pol}}{k_{pol}} + \frac{e_{lad}}{k_{lad}} + \frac{e_{cem}}{k_{cem}} + R_{CEm_cal} = 2.093 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$U_{m_cal} := \frac{1}{R_{Tm_cal}} = 0.478 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$\text{Comprobamos que este valor cumple con el CTE: } U_{m_lim} := 0.66 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K} \quad \begin{array}{l} \text{(Tabla sección HE1 del documento básico HE)} \\ \text{(Zona climática D3, pag HE1-7)} \end{array}$$

$$Q_{cal_Tm_salon} := U_{m_cal} \cdot A_{m_salon} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tm_baño1} := U_{m_cal} \cdot A_{m_baño1_ext} \cdot (T_I - T_E) + U_{m_cal} \cdot A_{m_baño1_gar} \cdot \left(T_I - \frac{T_I + T_E}{2} \right)$$

$$Q_{cal_Tm_cocina} := U_{m_cal} \cdot A_{m_cocina} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tm_dorm1} := U_{m_cal} \cdot A_{m_dorm1} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tm_dorm2} := U_{m_cal} \cdot A_{m_dorm2} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tm_dorm3} := U_{m_cal} \cdot A_{m_dorm3} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tm_baño2} := U_{m_cal} \cdot A_{m_baño2} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tm_vestibulo} := U_{m_cal} \cdot A_{m_vestibulo_ext} \cdot (T_I - T_E) + U_{m_cal} \cdot A_{m_vestibulo_gar} \cdot \left(T_I - \frac{T_I + T_E}{2} \right)$$

$$Q_{cal_Tm} := Q_{cal_Tm_salon} + Q_{cal_Tm_baño1} + Q_{cal_Tm_cocina} + Q_{cal_Tm_dorm1} + Q_{cal_Tm_dorm2} + Q_{cal_Tm_dorm3} + Q_{cal_Tm_baño2} + Q_{cal_Tm_vestibulo}$$

$$Q_{cal_Tm_ver} := 0W$$

Ventanas:

$$R_{CEv_cal} := 0.04 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \begin{array}{l} \text{(Documento básico HE, apéndice E, tabla E1)} \\ \text{(Pag HE1-35)} \end{array}$$

$$R_{CIv_cal} := 0.13 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{Tv_cal} := R_{CIv_cal} + \frac{e_{vidrio}}{k_{vidrio}} + \frac{e_{aire}}{k_{aire}} + \frac{e_{vidrio}}{k_{vidrio}} + R_{CEv_cal} = 0.636 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$U_v := \frac{1}{R_{Tv_cal}} = 1.572 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Q_{cal_Tv_salon} := U_v \cdot A_{vent_salon} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tv_baño1} := U_v \cdot A_{vent_baño1} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tv_cocina} := U_v \cdot A_{vent_cocina} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tv_dorm1} := U_v \cdot A_{vent_dorm1} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tv_dorm2} := U_v \cdot A_{vent_dorm2} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tv_dorm3} := U_v \cdot A_{vent_dorm3} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tv_baño2} := U_v \cdot A_{vent_baño2} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tv_vestibulo} := U_v \cdot A_{vent_vestibulo} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tv} := Q_{cal_Tv_salon} + Q_{cal_Tv_baño1} + Q_{cal_Tv_cocina} + Q_{cal_Tv_dorm1} + Q_{cal_Tv_dorm2} + Q_{cal_Tv_dorm3} + Q_{cal_Tv_baño2} + Q_{cal_Tv_vestibulo}$$

$$Q_{cal_Tv_ver} := 0W$$

Puertas:

$$U_{p_vidrio} := U_v$$

$$R_{CEp_cal} := 0.04 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \begin{array}{l} \text{(Documento básico HE, apéndice E, tabla E1)} \\ \text{(Pag HE1-35)} \end{array}$$

$$R_{CIp_cal} := 0.13 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{Tp_cal} := R_{CIp_cal} + \frac{e_{madera2}}{k_{madera2}} + \frac{e_{acero}}{k_{acero}} + \frac{e_{madera1}}{k_{madera1}} + R_{CEp_cal} = 0.561 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$U_{p_entrada} := \frac{1}{R_{Tp_cal}} = 1.783 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Q_{cal_Tp_salon} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_salon} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tp_baño1} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_baño1} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tp_cocina} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_cocina} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tp_dorm1} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_dorm1} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tp_dorm2} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_dorm2} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tp_dorm3} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_dorm3} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tp_baño2} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_baño2} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tp_vestibulo} := U_{p_entrada} \cdot A_{p_vestibulo} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Tp} := Q_{cal_Tp_salon} + Q_{cal_Tp_baño1} + Q_{cal_Tp_cocina} + Q_{cal_Tp_dorm1} + Q_{cal_Tp_dorm2} + Q_{cal_Tp_dorm3} + Q_{cal_Tp_baño2} + Q_{cal_Tp_vestibulo}$$

$$Q_{cal_Tp_ver} := 0W$$

$$\text{Total transmisión: } Q_{\text{cal_T}} := Q_{\text{cal_Tsuel}} + Q_{\text{cal_Tc}} + Q_{\text{cal_Tm}} + Q_{\text{cal_Tv}} + Q_{\text{cal_Tp}}$$

$$Q_{\text{cal_Tver}} := 0 \text{ W}$$

Cargas de intercambios de aire:

Ventilación:

$$\rho_a := 1.2 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \begin{array}{l} \text{(Documento básico HS. Sección HS3.} \\ \text{Calidad del aire interior. Tabla 2.1)} \\ \text{(Pág HS3-2)} \end{array}$$

$$c_{pa} := 1000 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$V_{\text{av_salon}} := 4 \cdot 3 \cdot \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0.012 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (4 \text{ personas})$$

$$V_{\text{av_baño1}} := 15 \cdot \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0.015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{\text{av_cocina}} := A_{\text{cocina}} \cdot 2 \cdot \frac{\text{L}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} = 0.031 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{\text{av_dorm1}} := 1 \cdot 5 \cdot \frac{\text{L}}{\text{s}} = 5 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (1 \text{ persona})$$

$$V_{\text{av_dorm2}} := 1 \cdot 5 \cdot \frac{\text{L}}{\text{s}} = 5 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \quad (1 \text{ persona})$$

$$V_{\text{av_dorm3}} := 2 \cdot 5 \cdot \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0.01 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{\text{av_baño2}} := 15 \cdot \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0.015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{\text{av_vestibulo}} := A_{\text{vestibulo}} \cdot 0.7 \cdot \frac{\text{L}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} = 0.018 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Cargas sensibles:

$$Q_{\text{cal_Vs_salon}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_salon}} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{\text{cal_Vs_baño1}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_baño1}} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{\text{cal_Vs_cocina}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_cocina}} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{\text{cal_Vs_dorm1}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_dorm1}} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{\text{cal_Vs_dorm2}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_dorm2}} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{\text{cal_Vs_dorm3}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_dorm3}} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{\text{cal_Vs_baño2}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_baño2}} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

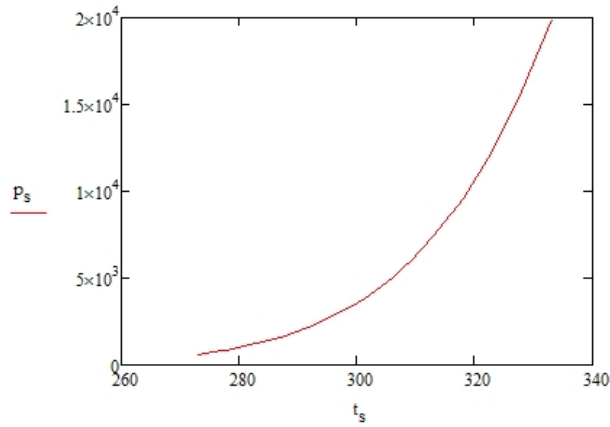
$$Q_{\text{cal_Vs_vestibulo}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_vestibulo}} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Vs} := Q_{cal_Vs_salon} + Q_{cal_Vs_baño1} + Q_{cal_Vs_cocina} + Q_{cal_Vs_dorm1} + Q_{cal_Vs_dorm2} + Q_{cal_Vs_dorm3} + Q_{cal_Vs_baño2} + Q_{cal_Vs_vestibulo}$$

- Cargas latentes:

$$h_{fg} := 2257 \cdot 10^3 \cdot \frac{J}{kg}$$

$$P_{amb} := 101325 \cdot Pa = 1.013 \cdot bar$$



$$vs := (cspline(t_s, p_s))$$

$$interp(vs, t_s, p_s, T_I)$$

$$interp(vs, t_s, p_s, T_E)$$

$$P_{sat_TI} := interp(vs, t_s, p_s, T_I)$$

$$P_{sat_TE} := interp(vs, t_s, p_s, T_E)$$

$$\omega_I := 0.622 \cdot \frac{\phi_I \cdot P_{sat_TI}}{P_{amb} - \phi_I \cdot P_{sat_TI}}$$

$$\omega_{E_i} := 0.622 \cdot \frac{\phi_{E_i} \cdot P_{sat_TE_i}}{P_{amb} - \phi_{E_i} \cdot P_{sat_TE_i}}$$

$$Q_{cal_V1_salon} := \rho_a \cdot V_{av_salon} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_V1_baño1} := \rho_a \cdot V_{av_baño1} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_V1_cocina} := \rho_a \cdot V_{av_cocina} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_V1_dorm1} := \rho_a \cdot V_{av_dorm1} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_V1_dorm2} := \rho_a \cdot V_{av_dorm2} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_V1_dorm3} := \rho_a \cdot V_{av_dorm3} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_V1_baño2} := \rho_a \cdot V_{av_baño2} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_V1_vestibulo} := \rho_a \cdot V_{av_vestibulo} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_VI} := Q_{cal_VI_salon} + Q_{cal_VI_baño1} + Q_{cal_VI_cocina} + Q_{cal_VI_dorm1} + Q_{cal_VI_dorm2} + Q_{cal_VI_dorm3} + Q_{cal_VI_baño2} + Q_{cal_VI_vestibulo}$$

$$Q_{cal_V} := Q_{cal_Vs} + Q_{cal_VI}$$

$$Q_{cal_V_{ver}} := 0W$$

Infiltraciones:

$$\text{Ventanas: } 1.8 \cdot \frac{m^3}{h \cdot m^2 \text{ vent}} \quad \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s \cdot m^2 \text{ vent}}$$

$$\text{Puertas: } 2.5 \cdot \frac{m^3}{h \cdot m^2 \text{ puerta}} \quad \frac{2.5}{3600} \cdot \frac{m^3}{s \cdot m^2 \text{ puerta}}$$

$$V_{ai_salon} := 5 \cdot \frac{2.5}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 3.472 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_baño1} := 0.35 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 1.75 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_cocina} := 1.65 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 8.25 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_dorm1} := 1.95 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 9.75 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_dorm2} := 1.95 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 9.75 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_dorm3} := 1.95 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 9.75 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_baño2} := 0.35 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 1.75 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_vestibulo} := 1.8 \cdot \frac{2.5}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 1.25 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

- Cargas sensibles:

$$Q_{cal_Is_salon} := \rho_a \cdot V_{ai_salon} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Is_baño1} := \rho_a \cdot V_{ai_baño1} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Is_cocina} := \rho_a \cdot V_{ai_cocina} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Is_dorm1} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm1} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Is_dorm2} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm2} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Is_dorm3} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm3} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Is_baño2} := \rho_a \cdot V_{ai_baño2} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Is_vestibulo} := \rho_a \cdot V_{ai_vestibulo} \cdot c_{pa} \cdot (T_I - T_E)$$

$$Q_{cal_Is} := Q_{cal_Is_salon} + Q_{cal_Is_baño1} + Q_{cal_Is_cocina} + Q_{cal_Is_dorm1} + Q_{cal_Is_dorm2} + Q_{cal_Is_dorm3} + Q_{cal_Is_baño2} + Q_{cal_Is_vestibulo}$$

- Cargas latentes:

$$Q_{cal_II_salon} := \rho_a \cdot V_{ai_salon} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_II_baño1} := \rho_a \cdot V_{ai_baño1} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_II_cocina} := \rho_a \cdot V_{ai_cocina} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_II_dorm1} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm1} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_II_dorm2} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm2} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_II_dorm3} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm3} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_II_baño2} := \rho_a \cdot V_{ai_baño2} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_II_vestibulo} := \rho_a \cdot V_{ai_vestibulo} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_I - \omega_E)$$

$$Q_{cal_II} := Q_{cal_II_salon} + Q_{cal_II_baño1} + Q_{cal_II_cocina} + Q_{cal_II_dorm1} + Q_{cal_II_dorm2} + Q_{cal_II_dorm3} + Q_{cal_II_baño2} + Q_{cal_II_vestibulo}$$

$$Q_{cal_I} := Q_{cal_Is} + Q_{cal_II}$$

$$Q_{cal_I_ver} := 0$$

Total intercambios de aire:

$$Q_{cal_IA} := Q_{cal_Vs} + Q_{cal_Vl} + Q_{cal_Is} + Q_{cal_II}$$

$$Q_{cal_IA_ver} := 0$$

Total cargas calefacción:

$$Q_{cal} := Q_{cal_T} + Q_{cal_IA}$$

$$Q_{cal_ver} := 0W$$

$$Q_{cal_i} := Q_{cal_i} \cdot (Q_{cal_i} > 0W)$$

Cargas de refrigeración:

$$T_{Iv} := (25 + 273)K \quad (\text{Para verano})$$

$$\phi_{T_v} := 0.45 \quad (\text{Para verano})$$

$$inv_{ini} := 0..ini_{ver}$$

$$Q_{ref\,inv_{ini}} := 0W$$

$$ref := ini_{ver}..fin_{ver}$$

$$inv_{fin} := fin_{ver}..rows(h) - 1$$

$$Q_{ref\,inv_{fin}} := 0W$$

Cargas de Transmisión:

Suelo: no se considera, es una ganancia.

Cubierta:

$$R_{CEc_ref} := 0.04 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \begin{array}{l} \text{(Documento básico HE, apéndice E, tabla E1)} \\ \text{(Pag HE1-35)} \end{array}$$

$$R_{CIC_ref} := 0.17 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{Tc_ref} := R_{CIC_ref} + \frac{e_{yeso_t}}{k_{yeso_t}} + \frac{e_{pe}}{k_{pe}} + \frac{e_{bov}}{k_{bov}} + \frac{e_{horm}}{k_{horm}} + R_{CEc_ref} = 2.924 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$U_{c_ref} := \frac{1}{R_{Tc_ref}} = 0.342 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Comprobamos que este valor cumple con el CTE: $U_{c_lim} := 0.38 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (Tabla sección HE1 del documento básico HE)
(Zona climática D3, pag HE1-7)

$$Q_{ref_Tc_salon} := U_{c_ref} \cdot A_{salon} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tc_baño1} := U_{c_ref} \cdot A_{baño1} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tc_cocina} := U_{c_ref} \cdot A_{cocina} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tc_dorm1} := U_{c_ref} \cdot A_{dorm1} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tc_dorm2} := U_{c_ref} \cdot A_{dorm2} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tc_dorm3} := U_{c_ref} \cdot A_{dorm3} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tc_baño2} := U_{c_ref} \cdot A_{baño2} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tc_vestibulo} := U_{c_ref} \cdot A_{vestibulo} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tc} := Q_{ref_Tc_salon} + Q_{ref_Tc_baño1} + Q_{ref_Tc_cocina} + Q_{ref_Tc_dorm1} + Q_{ref_Tc_dorm2} + Q_{ref_Tc_dorm3} + Q_{ref_Tc_baño2} + Q_{ref_Tc_vestibulo}$$

$$Q_{ref_Tc_inv_fin} := 0W \quad Q_{ref_Tc_inv_ini} := 0W$$

Muros:

$$R_{CEm_ref} := 0.04 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \begin{array}{l} \text{(Documento básico HE, apéndice E, tabla E1)} \\ \text{(Pag HE1-35)} \end{array}$$

$$R_{CIM_ref} := 0.13 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{Tm_ref} := R_{CIM_ref} + \frac{e_{yeso}}{k_{yeso}} + \frac{e_{lad}}{k_{lad}} + \frac{e_{pol}}{k_{pol}} + \frac{e_{lad}}{k_{lad}} + \frac{e_{cem}}{k_{cem}} + R_{CEm_ref} = 2.093 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$U_{m_ref} := \frac{1}{R_{Tm_ref}} = 0.478 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Comprobamos que este valor cumple con el CTE: $U_{m_lim} := 0.66 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$ (Tabla sección HE1 del documento básico HE)
(Zona climática D3, pag HE1-7)

$$Q_{\text{ref_Tm_salon}} := U_{\text{m_ref}} \cdot A_{\text{m_salon}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tm_baño1}} := U_{\text{m_ref}} \cdot A_{\text{m_baño1_ext}} \cdot (T_E - T_I) + U_{\text{m_ref}} \cdot A_{\text{m_baño1_gar}} \cdot \left(\frac{T_I + T_E}{2} - T_I \right)$$

$$Q_{\text{ref_Tm_cocina}} := U_{\text{m_ref}} \cdot A_{\text{m_cocina}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tm_dorm1}} := U_{\text{m_ref}} \cdot A_{\text{m_dorm1}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tm_dorm2}} := U_{\text{m_ref}} \cdot A_{\text{m_dorm2}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tm_dorm3}} := U_{\text{m_ref}} \cdot A_{\text{m_dorm3}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tm_baño2}} := U_{\text{m_ref}} \cdot A_{\text{m_baño2}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tm_vestibulo}} := U_{\text{m_ref}} \cdot A_{\text{m_vestibulo_ext}} \cdot (T_E - T_I) + U_{\text{m_ref}} \cdot A_{\text{m_vestibulo_gar}} \cdot \left(\frac{T_I + T_E}{2} - T_I \right)$$

$$Q_{\text{ref_Tm}} := Q_{\text{ref_Tm_salon}} + Q_{\text{ref_Tm_baño1}} + Q_{\text{ref_Tm_cocina}} + Q_{\text{ref_Tm_dorm1}} + Q_{\text{ref_Tm_dorm2}} + Q_{\text{ref_Tm_dorm3}} + Q_{\text{ref_Tm_baño2}} + Q_{\text{ref_Tm_vestibulo}}$$

$$Q_{\text{ref_Tm_inv_fin}} := 0W \quad Q_{\text{ref_Tm_inv_ini}} := 0W$$

Ventanas:

$$R_{\text{CEv_ref}} := 0.04 \cdot \frac{\text{m}^2 \cdot K}{W} \quad \begin{array}{l} \text{(Documento básico HE, apéndice E, tabla E1)} \\ \text{(Pag HE1-35)} \end{array}$$

$$R_{\text{CIv_ref}} := 0.13 \cdot \frac{\text{m}^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{\text{Tv_ref}} := R_{\text{CIv_cal}} + \frac{e_{\text{vidrio}}}{k_{\text{vidrio}}} + \frac{e_{\text{aire}}}{k_{\text{aire}}} + \frac{e_{\text{vidrio}}}{k_{\text{vidrio}}} + R_{\text{CEv_cal}} = 0.636 \cdot \frac{\text{m}^2 \cdot K}{W}$$

$$U_{\text{v}} := \frac{1}{R_{\text{Tv_cal}}} = 1.572 \cdot \frac{W}{\text{m}^2 \cdot K}$$

$$Q_{\text{ref_Tv_salon}} := U_v \cdot A_{\text{vent_salon}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tv_baño1}} := U_v \cdot A_{\text{vent_baño1}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tv_cocina}} := U_v \cdot A_{\text{vent_cocina}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tv_dorm1}} := U_v \cdot A_{\text{vent_dorm1}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tv_dorm2}} := U_v \cdot A_{\text{vent_dorm2}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tv_dorm3}} := U_v \cdot A_{\text{vent_dorm3}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tv_baño2}} := U_v \cdot A_{\text{vent_baño2}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tv_vestibulo}} := U_v \cdot A_{\text{vent_vestibulo}} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{\text{ref_Tv}} := Q_{\text{ref_Tv_salon}} + Q_{\text{ref_Tv_baño1}} + Q_{\text{ref_Tv_cocina}} + Q_{\text{ref_Tv_dorm1}} + Q_{\text{ref_Tv_dorm2}} + Q_{\text{ref_Tv_dorm3}} + Q_{\text{ref_Tv_baño2}} + Q_{\text{ref_Tv_vestibulo}}$$

$$Q_{\text{ref_Tv_inv_fin}} := 0W \quad Q_{\text{ref_Tv_inv_ini}} := 0W$$

Puertas:

$$U_{p_vidrio} := U_v$$

$$R_{CEp_ref} := 0.04 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W} \quad \begin{array}{l} \text{(Documento básico HE, apéndice E, tabla E1)} \\ \text{(Pag HE1-35)} \end{array}$$

$$R_{CIp_ref} := 0.13 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$R_{Tp_cal} := R_{CIp_cal} + \frac{e_{madera2}}{k_{madera2}} + \frac{e_{acero}}{k_{acero}} + \frac{e_{madera1}}{k_{madera1}} + R_{CEp_cal} = 0.561 \cdot \frac{m^2 \cdot K}{W}$$

$$U_{p_entrada} := \frac{1}{R_{Tp_cal}} = 1.783 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

$$Q_{ref_Tp_salon} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_salon} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tp_baño1} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_baño1} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tp_cocina} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_cocina} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tp_dorm1} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_dorm1} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tp_dorm2} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_dorm2} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tp_dorm3} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_dorm3} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tp_baño2} := U_{p_vidrio} \cdot A_{p_baño2} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tp_vestibulo} := U_{p_entrada} \cdot A_{p_vestibulo} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Tp} := Q_{ref_Tp_salon} + Q_{ref_Tp_baño1} + Q_{ref_Tp_cocina} + Q_{ref_Tp_dorm1} + Q_{ref_Tp_dorm2} + Q_{ref_Tp_dorm3} + Q_{ref_Tp_baño2} + Q_{ref_Tp_vestibulo}$$

$$Q_{ref_Tp_inv_fin} := 0W \quad Q_{ref_Tp_inv_ini} := 0W$$

$$\text{Total transmisión:} \quad Q_{ref_T} := Q_{ref_Tc} + Q_{ref_Tm} + Q_{ref_Tv} + Q_{ref_Tp}$$

Cargas de intercambios de aire:

Ventilación:

$$\rho_a := 1.2 \cdot \frac{kg}{m^3} \quad \begin{array}{l} \text{(Documento básico HS. Sección HS3.} \\ \text{Calidad del aire interior. Tabla 2.1)} \\ \text{(Pág HS3-2)} \end{array}$$

$$c_{pa} := 1000 \cdot \frac{J}{kg \cdot K}$$

$$V_{av_salon} := 4 \cdot 3 \cdot \frac{L}{s} = 0.012 \frac{m^3}{s} \quad (4 \text{ personas})$$

$$V_{av_baño1} := 15 \cdot \frac{L}{s} = 0.015 \frac{m^3}{s}$$

$$V_{av_cocina} := A_{cocina} \cdot 2 \cdot \frac{L}{s \cdot m} = 0.031 \frac{m^3}{s}$$

$$V_{av_dorm1} := 1.5 \cdot \frac{L}{s} = 5 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \quad (1 \text{ persona})$$

$$V_{av_dorm2} := 1.5 \cdot \frac{L}{s} = 5 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s} \quad (1 \text{ persona})$$

$$V_{av_dorm3} := 2.5 \cdot \frac{L}{s} = 0.01 \frac{m^3}{s}$$

$$V_{av_baño2} := 15 \cdot \frac{L}{s} = 0.015 \frac{m^3}{s}$$

$$V_{av_vestibulo} := A_{vestibulo} \cdot 0.7 \cdot \frac{L}{s \cdot m} = 0.018 \frac{m^3}{s}$$

- Cargas sensibles:

$$Q_{ref_Vs_salon} := \rho_a \cdot V_{av_salon} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Vs_baño1} := \rho_a \cdot V_{av_baño1} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Vs_cocina} := \rho_a \cdot V_{av_cocina} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Vs_dorm1} := \rho_a \cdot V_{av_dorm1} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Vs_dorm2} := \rho_a \cdot V_{av_dorm2} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Vs_dorm3} := \rho_a \cdot V_{av_dorm3} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Vs_baño2} := \rho_a \cdot V_{av_baño2} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

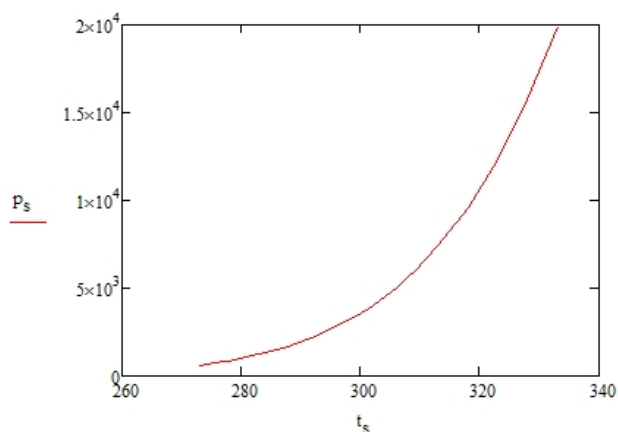
$$Q_{ref_Vs_vestibulo} := \rho_a \cdot V_{av_vestibulo} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Vs} := Q_{ref_Vs_salon} + Q_{ref_Vs_baño1} + Q_{ref_Vs_cocina} + Q_{ref_Vs_dorm1} + Q_{ref_Vs_dorm2} + Q_{ref_Vs_dorm3} + Q_{ref_Vs_baño2} + Q_{ref_Vs_vestibulo}$$

- Cargas latentes:

$$h_{ca} := 2257 \cdot 10^3 \cdot \frac{J}{kg}$$

$$P_{amb} := 101325 \cdot Pa = 1.013 \cdot bar$$



$$vs := (\text{cspline}(t_s, p_s))$$

$$\text{interp}(vs, t_s, p_s, T_I)$$

$$\text{interp}(vs, t_s, p_s, T_E)$$

$$P_{\text{sat_TI}} := \text{interp}(vs, t_s, p_s, T_I)$$

$$P_{\text{sat_TE}} := \text{interp}(vs, t_s, p_s, T_E)$$

$$\omega_I := 0.622 \cdot \frac{\phi_I \cdot P_{\text{sat_TI}}}{P_{\text{amb}} - \phi_I \cdot P_{\text{sat_TI}}}$$

$$\omega_{E_i} := 0.622 \cdot \frac{\phi_{E_i} \cdot P_{\text{sat_TE}_i}}{P_{\text{amb}} - \phi_{E_i} \cdot P_{\text{sat_TE}_i}}$$

$$Q_{\text{ref_VI_salon}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_salon}} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{\text{ref_VI_baño1}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_baño1}} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{\text{ref_VI_cocina}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_cocina}} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{\text{ref_VI_dorm1}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_dorm1}} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{\text{ref_VI_dorm2}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_dorm2}} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{\text{ref_VI_dorm3}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_dorm3}} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{\text{ref_VI_baño2}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_baño2}} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{\text{ref_VI_vestibulo}} := \rho_a \cdot V_{\text{av_vestibulo}} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{\text{ref_VI}} := Q_{\text{ref_VI_salon}} + Q_{\text{ref_VI_baño1}} + Q_{\text{ref_VI_cocina}} + Q_{\text{ref_VI_dorm1}} + Q_{\text{ref_VI_dorm2}} + Q_{\text{ref_VI_dorm3}} + Q_{\text{ref_VI_baño2}} + Q_{\text{ref_VI_vestibulo}}$$

$$Q_{\text{ref_V}} := Q_{\text{ref_Vs}} + Q_{\text{ref_VI}}$$

Infiltraciones:

$$\text{Ventanas: } 1.8 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \text{ vent}} \quad \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \text{ vent}}$$

$$\text{Puertas: } 2.5 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \text{ puerta}} \quad \frac{2.5}{3600} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s} \cdot \text{m}^2 \text{ puerta}}$$

$$V_{\text{ai_salon}} := 5 \cdot \frac{2.5}{3600} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 3.472 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{\text{ai_baño1}} := 0.35 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1.75 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{\text{ai_cocina}} := 1.65 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 8.25 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V_{ai_dorm1} := 1.95 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 9.75 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_dorm2} := 1.95 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 9.75 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_dorm3} := 1.95 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 9.75 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_baño2} := 0.35 \cdot \frac{1.8}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 1.75 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$V_{ai_vestibulo} := 1.8 \cdot \frac{2.5}{3600} \cdot \frac{m^3}{s} = 1.25 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$$

- Cargas sensibles:

$$Q_{ref_Is_salon} := \rho_a \cdot V_{ai_salon} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Is_baño1} := \rho_a \cdot V_{ai_baño1} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Is_cocina} := \rho_a \cdot V_{ai_cocina} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Is_dorm1} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm1} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Is_dorm2} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm2} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Is_dorm3} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm3} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Is_baño2} := \rho_a \cdot V_{ai_baño2} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Is_vestibulo} := \rho_a \cdot V_{ai_vestibulo} \cdot c_{pa} \cdot (T_E - T_I)$$

$$Q_{ref_Is} := Q_{ref_Is_salon} + Q_{ref_Is_baño1} + Q_{ref_Is_cocina} + Q_{ref_Is_dorm1} + Q_{ref_Is_dorm2} + Q_{ref_Is_dorm3} + Q_{ref_Is_baño2} + Q_{ref_Is_vestibulo}$$

- Cargas latentes:

$$Q_{ref_Il_salon} := \rho_a \cdot V_{ai_salon} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{ref_Il_baño1} := \rho_a \cdot V_{ai_baño1} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{ref_Il_cocina} := \rho_a \cdot V_{ai_cocina} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{ref_Il_dorm1} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm1} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{ref_Il_dorm2} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm2} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{ref_Il_dorm3} := \rho_a \cdot V_{ai_dorm3} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{ref_Il_baño2} := \rho_a \cdot V_{ai_baño2} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{ref_Il_vestibulo} := \rho_a \cdot V_{ai_vestibulo} \cdot h_{fg} \cdot (\omega_E - \omega_I)$$

$$Q_{\text{ref_II}} := Q_{\text{ref_II_salon}} + Q_{\text{ref_II_baño1}} + Q_{\text{ref_II_cocina}} + Q_{\text{ref_II_dorm1}} + Q_{\text{ref_II_dorm2}} + Q_{\text{ref_II_dorm3}} + Q_{\text{ref_II_baño2}} + Q_{\text{ref_II_vestibulo}}$$

$$Q_{\text{ref_I}} := Q_{\text{ref_Is}} + Q_{\text{ref_II}}$$

Total intercambios de aire:

$$Q_{\text{ref_IA}} := Q_{\text{ref_Vs}} + Q_{\text{ref_Vl}} + Q_{\text{ref_Is}} + Q_{\text{ref_II}}$$

Cargas debidas a la radiación: se desprecian

Cargas internas:

Iluminación:

$$\text{Pasillo: } 10 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Resto: } 20 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{\text{Ilu_salon}} := 20 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{salon}} = 840 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Ilu_baño1}} := 20 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{baño1}} = 165.888 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Ilu_cocina}} := 20 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{cocina}} = 310.4 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Ilu_dorm1}} := 20 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{dorm1}} = 292.8 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Ilu_dorm2}} := 20 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{dorm2}} = 281.088 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Ilu_dorm3}} := 20 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{dorm3}} = 388 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Ilu_baño2}} := 20 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{baño2}} = 185.888 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Ilu_vestibulo}} := 10 \cdot \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{vestibulo}} = 255.6 \text{ W}$$

$$Q_{\text{Ilu}} := Q_{\text{Ilu_salon}} + Q_{\text{Ilu_baño1}} + Q_{\text{Ilu_cocina}} + Q_{\text{Ilu_dorm1}} + Q_{\text{Ilu_dorm2}} + Q_{\text{Ilu_dorm3}} + Q_{\text{Ilu_baño2}} + Q_{\text{Ilu_vestibulo}} = 2.72 \times 10^3 \text{ W}$$

Ocupación:

$$\text{Sensible: } 60 \cdot \frac{\text{W}}{\text{pers}}$$

$$\text{Latente: } 70 \cdot \frac{\text{W}}{\text{pers}}$$

$$\text{Total ocupación: } Q_{\text{oc}} := (60\text{W} + 70\text{W}) \cdot 4 \cdot 1 = 520 \text{ W}$$

Equipos:

$$Q_{eq_salon} := 150W \cdot 0.60 = 90 W$$

$$Q_{eq_baño1} := 0W$$

$$Q_{eq_cocina} := 200W$$

$$Q_{eq_dorm1} := 200W \cdot 0.5 = 100 W$$

$$Q_{eq_dorm2} := 200W \cdot 0.5 = 100 W$$

$$Q_{eq_dorm3} := 150W \cdot 0.60 = 90 W$$

$$Q_{eq_baño2} := 0W$$

$$Q_{eq_vestibulo} := 0W$$

$$Q_{eq} := Q_{eq_salon} + Q_{eq_baño1} + Q_{eq_cocina} + Q_{eq_dorm1} + Q_{eq_dorm2} + Q_{eq_dorm3} + Q_{eq_baño2} + Q_{eq_vestibulo} = 580 W$$

$$\text{Total cargas internas:} \quad Q_{int} := Q_{llu} + Q_{oc} + Q_{eq} = 3.82 \times 10^3 W$$

Total cargas refrigeración:

$$Q_{ref} := Q_{ref_T} + Q_{ref_IA} + Q_{int}$$

$$Q_{ref_i} := Q_{ref_i} \cdot (Q_{ref_i} > 0)$$

$$Q_{ref_{inv_{ini}}} := 0W$$

$$Q_{ref_{inv_{fin}}} := 0W$$

Potencia máxima y energía:

$$P_{cal} := \max(Q_{cal}) = 7.996 \times 10^3 W$$

$$P_{ref} := \max(Q_{ref}) = 9.24 \times 10^3 W$$

$$\Delta t := 1hr \quad \text{incremento de tiempo}$$

$$E_{cal} := \sum_i (Q_{cal_i} \cdot \Delta t) = 2.082 \times 10^4 \cdot kW \cdot hr$$

$$E_{ref} := \sum_i (Q_{ref_i} \cdot \Delta t) = 1.193 \times 10^4 \cdot kW \cdot hr$$

$$E_{tot} := E_{cal} + E_{ref} = 3.275 \times 10^4 \cdot kW \cdot hr$$

Distancia Sol - Tierra diaria:

Día del año: $n := 1..365$

$$\Gamma_n := \frac{2 \cdot \pi \cdot (n - 1)}{365}$$

Distancia media: $r_0 := 1.496 \cdot 10^{11}$

Distancia diaria entre distancia media:

$$\text{dist}_n := \sqrt{\frac{1}{1.000110 + 0.034221 \cdot \cos(\Gamma_n) + 0.00128 \cdot \sin(\Gamma_n) + 0.000719 \cdot \cos(2 \cdot \Gamma_n) + 0.000077 \cdot \sin(2 \cdot \Gamma_n)}}$$

Declinación solar:

$$\delta_n := \sin\left[360 \deg \cdot \frac{(284 + n)}{365}\right] \cdot 23.45 \deg$$

Ángulo horario:

hora := 1..24

$$\omega_{\text{hora}} := 15 \deg \cdot \text{hora} - 180 \deg$$

Ángulo de salida y puesta del Sol:

Latitud Madrid: $\phi := 40.41667 \deg$

$$\omega_{s_n} := \arccos\left(-\tan(\phi) \cdot \tan(\delta_n)\right)$$

Duración del día:

$$DD_n := \frac{2 \cdot \omega_{s_n}}{15}$$

Altura solar:

1 Enero:

$$\alpha_{1\text{ hora}} := \begin{cases} \frac{\omega_{s_1}}{\deg} & \text{if } \text{hora} < 12 - \frac{\omega_{s_1}}{\deg} \\ 0 & \text{if } \text{hora} > 12 + \frac{\omega_{s_1}}{\deg} \\ \arcsin\left(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta_1) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta_1) \cdot \cos(\omega_{\text{hora}})\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

1 Julio:

$$\alpha_{182\text{ hora}} := \begin{cases} \frac{\omega_{s_{182}}}{\deg} & \text{if } \text{hora} < 12 - \frac{\omega_{s_{182}}}{\deg} \\ 0 & \text{if } \text{hora} > 12 + \frac{\omega_{s_{182}}}{\deg} \\ \arcsin\left(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta_{182}) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta_{182}) \cdot \cos(\omega_{\text{hora}})\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

1 Abril:

$$\alpha_{91_{\text{hora}}} := \begin{cases} \frac{\omega_{s_{91}}}{\text{deg}} & \text{if } \text{hora} < 12 - \frac{\text{deg}}{15} \\ 0 & \text{if } \text{hora} > 12 + \frac{\text{deg}}{15} \\ \text{asin}(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta_{91}) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta_{91}) \cdot \cos(\omega_{\text{hora}})) & \text{otherwise} \end{cases}$$

1 Octubre:

$$\alpha_{274_{\text{hora}}} := \begin{cases} \frac{\omega_{s_{274}}}{\text{deg}} & \text{if } \text{hora} < 12 - \frac{\text{deg}}{15} \\ 0 & \text{if } \text{hora} > 12 + \frac{\text{deg}}{15} \\ \text{asin}(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta_{274}) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta_{274}) \cdot \cos(\omega_{\text{hora}})) & \text{otherwise} \end{cases}$$

Ángulo cenital:

$$\theta_{h_{\text{hora}}} := \left(\frac{\pi}{2}\right) - \alpha_{182_{\text{hora}}}$$

$$\theta_{n_n} := \left(\frac{\pi}{2}\right) - \alpha_{12_n}$$

Ángulo azimutal:

$$\gamma_{s_{h_{\text{hora}}}} := \text{asin}\left(\frac{\cos(\delta_{182}) \cdot \sin(\omega_{\text{hora}})}{\cos(\alpha_{182_{\text{hora}}})}\right)$$

Posición de la persiana en invierno:

1 de Enero: $\beta_{1_{\text{hora}}} := 90\text{deg} + \alpha_{1_{\text{hora}}}$

1 de Marzo:

$$\alpha_{60_{\text{hora}}} := \begin{cases} \frac{\omega_{s_{60}}}{\text{deg}} & \text{if } \text{hora} < 12 - \frac{\text{deg}}{15} \\ 0 & \text{if } \text{hora} > 12 + \frac{\text{deg}}{15} \\ \text{asin}(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta_{60}) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta_{60}) \cdot \cos(\omega_{\text{hora}})) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\beta_{60_{\text{hora}}} := 90\text{deg} + \alpha_{60_{\text{hora}}}$$

1 de Noviembre:

$$\alpha_{305_{\text{hora}}} := \begin{cases} 0 & \text{if } \text{hora} < 12 - \frac{\frac{\omega_{s_{305}}}{\text{deg}}}{15} \\ 0 & \text{if } \text{hora} > 12 + \frac{\frac{\omega_{s_{305}}}{\text{deg}}}{15} \\ \text{asin}\left(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta_{305}) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta_{305}) \cdot \cos(\omega_{\text{hora}})\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\beta_{305_{\text{hora}}} := 90\text{deg} + \alpha_{305_{\text{hora}}}$$

Posición de la persiana en verano:

$$h := 95\text{mm}$$

$$l_1 := 2.55\text{mm}$$

$$n := 1..24$$

1 de Mayo:

$$\alpha_{121_{\text{hora}}} := \begin{cases} 0 & \text{if } \text{hora} < 12 - \frac{\frac{\omega_{s_{121}}}{\text{deg}}}{15} \\ 0 & \text{if } \text{hora} > 12 + \frac{\frac{\omega_{s_{121}}}{\text{deg}}}{15} \\ \text{asin}\left(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta_{121}) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta_{121}) \cdot \cos(\omega_{\text{hora}})\right) & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\beta_{121_n} := \begin{cases} \text{error} \leftarrow 10\text{deg} \\ \beta_{121_n} \leftarrow 90\text{deg} \\ \beta_{\text{iter}_n} \leftarrow 90\text{deg} \\ \text{while } |\text{error}| \geq 0.001\text{deg} \\ \quad \beta_{121\text{iter}_n} \leftarrow \beta_{121_n} \\ \quad \beta_{121_n} \leftarrow \beta_{121\text{iter}_n} - \frac{\tan(\alpha_{121_n}) \cdot l_1 \cdot \sin(\beta_{121\text{iter}_n}) - h + l_1 \cdot \cos(\beta_{121\text{iter}_n})}{\tan(\alpha_{121_n}) \cdot l_1 \cdot \cos(\beta_{121\text{iter}_n}) - h - l_1 \cdot \sin(\beta_{121\text{iter}_n})} \\ \quad \text{error} \leftarrow \beta_{121_n} - \beta_{121\text{iter}_n} \\ \beta_{121_n} \end{cases}$$

1 de Julio:

$$\beta_{182_n} := \left| \begin{array}{l} \text{error} \leftarrow 10\text{deg} \\ \beta_{182_n} \leftarrow 90\text{deg} \\ \beta_{182iter_n} \leftarrow 90\text{deg} \\ \text{while } |\text{error}| \geq 0.001\text{deg} \\ \quad \left| \begin{array}{l} \beta_{182iter_n} \leftarrow \beta_{182_n} \\ \beta_{182_n} \leftarrow \beta_{182iter_n} - \frac{\tan(\alpha_{182_n}) \cdot l_1 \cdot \sin(\beta_{182iter_n}) - h + l_1 \cdot \cos(\beta_{182iter_n})}{\tan(\alpha_{182_n}) \cdot l_1 \cdot \cos(\beta_{182iter_n}) - h - l_1 \cdot \sin(\beta_{182iter_n})} \\ \text{error} \leftarrow \beta_{182_n} - \beta_{182iter_n} \end{array} \right. \\ \beta_{182_n} \end{array} \right.$$

1 de Septiembre:

$$\alpha_{244_{\text{hora}}} := \left| \begin{array}{l} \frac{\omega_{s_{244}}}{\frac{\text{deg}}{15}} \\ 0 \text{ if } \text{hora} < 12 - \frac{\text{deg}}{15} \\ \frac{\omega_{s_{244}}}{\frac{\text{deg}}{15}} \\ 0 \text{ if } \text{hora} > 12 + \frac{\text{deg}}{15} \\ \text{asin}(\sin(\phi) \cdot \sin(\delta_{244}) + \cos(\phi) \cdot \cos(\delta_{244}) \cdot \cos(\omega_{\text{hora}})) \text{ otherwise} \end{array} \right.$$

$$\beta_{244_n} := \left| \begin{array}{l} \text{error} \leftarrow 10\text{deg} \\ \beta_{244_n} \leftarrow 90\text{deg} \\ \beta_{244iter_n} \leftarrow 90\text{deg} \\ \text{while } |\text{error}| \geq 0.001\text{deg} \\ \quad \left| \begin{array}{l} \beta_{244iter_n} \leftarrow \beta_{244_n} \\ \beta_{244_n} \leftarrow \beta_{244iter_n} - \frac{\tan(\alpha_{244_n}) \cdot l_1 \cdot \sin(\beta_{244iter_n}) - h + l_1 \cdot \cos(\beta_{244iter_n})}{\tan(\alpha_{244_n}) \cdot l_1 \cdot \cos(\beta_{244iter_n}) - h - l_1 \cdot \sin(\beta_{244iter_n})} \\ \text{error} \leftarrow \beta_{244_n} - \beta_{244iter_n} \end{array} \right. \\ \beta_{244_n} \end{array} \right.$$

2.- DIMENSIONADO INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA PRODUCCIÓN DE ACS

1.- Carga calorífica: energía necesaria para calentar agua para la producción de ACS.

Tabla 4.1. Demanda de referencia a 60 °C⁽¹⁾

Criterio de demanda	Litros/día-unidad	unidad
Vivienda	28	Por persona
Hospitales y clínicas	55	Por persona
Ambulatorio y centro de salud	41	Por persona
Hotel *****	69	Por persona

$i := 1..12$ contador para el número de meses

Propiedades del agua:

$$\rho_{\text{agua}} := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad C_p := 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$T_{\text{ACS}} := (60 + 273)\text{K}$$

Calculo del consumo total de agua:

$$D_{\text{pers}} := 28\text{-liter}$$

$$N_{\text{pers}} := 4$$

$$D_T := D_{\text{pers}} \cdot N_{\text{pers}}$$

Tabla B.1 Temperatura diaria media mensual de agua fría (°C)

Capital de provincia	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>Madrid</i>	8	8	10	12	14	17	20	19	17	13	10	8

$$T_{\text{red}_i} := \quad N_{\text{dia}_i} :=$$

281K	31
281K	28
283K	31
285K	30
287K	31
290K	30
293K	31
292K	31
290K	30
286K	31
283K	30
281K	31

Cálculo de la carga calorífica:

$$Q_{c_i} := D_T \cdot \rho_{\text{agua}} \cdot C_p \cdot (T_{\text{ACS}} - T_{\text{red}_i}) \cdot N_{\text{dia}_i}$$

$$Q_{cT} := \sum_{i=1}^{12} Q_{c_i} = 2.229 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Características de los captadores: (Absorbedor QR-D)

$$S_{\text{col}} := 1.77\text{m}^2$$

Superficie de captación:

$$S := N_{col} \cdot S_{col} \quad S = 3.54 \text{ m}^2$$

Volumen de almacenamiento:

$$V_{alm} := 250 \frac{\text{liter}}{\text{m}^2} \cdot S \quad V_{alm} = 885 \text{ liter}$$

2.- Radiación incidente: la radiación solar incidente mensual puede obtenerse de tablas.

Enero:	$E_{\text{dia}_1} := 2 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 7.2 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$	Julio:	$E_{\text{dia}_7} := 7.6 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 2.736 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$
Febrero:	$E_{\text{dia}_2} := 2.9 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 1.044 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$	Agosto:	$E_{\text{dia}_8} := 6.7 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 2.412 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$
Marzo:	$E_{\text{dia}_3} := 4.3 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 1.548 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$	Septiembre:	$E_{\text{dia}_9} := 5.3 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 1.908 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$
Abril:	$E_{\text{dia}_4} := 5.4 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 1.944 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$	Octubre:	$E_{\text{dia}_{10}} := 3.6 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 1.296 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$
Mayo:	$E_{\text{dia}_5} := 6.5 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 2.34 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$	Noviembre:	$E_{\text{dia}_{11}} := 2.4 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 8.64 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$
Junio:	$E_{\text{dia}_6} := 7.3 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 2.628 \times 10^7 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$	Diciembre:	$E_{\text{dia}_{12}} := 1.8 \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2} = 6.48 \times 10^6 \frac{\text{J}}{\text{m}^2}$

	1
1	2
2	2.9
3	4.3
4	5.4
5	6.5
6	7.3
7	7.6
8	6.7
9	5.3
10	3.6
11	2.4
12	1.8

$E_{\text{dia}} = \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{m}^2}$

3.- Cálculo del parámetro D1: energía absorbida por el captador / carga calorífica

$$F_{R_{\text{tncn}}} := 0.696$$

$$\text{MAI} := 0.96$$

$$\text{CCI} := 0.95$$

Ea: energía absorbida.

S: superficie de captación.

Edia: energía solar media diaria.

N: número de días del mes.

Qc: carga calorífica.

α : absorptancia del captador.

τ : transmitancia de la cubierta transparente.

$F_R \cdot (\tau_n \cdot \alpha_n)$ Eficiencia optica del captador.

$\frac{(\tau \cdot \alpha)}{(\tau_n \cdot \alpha_n)}$ Modificador ángulo de incidencia (MAI) (normal 0,96)

$\left(\frac{F_R}{F_R}\right)$ Corrección captador - intercambiador (CCI) (normal 0,95)

$$F'_{R\tau\alpha} := F_{R\tau\alpha n} \cdot \text{MAI} \cdot \text{CCI} = 0.635$$

$$E_{a_i} := S \cdot F'_{R\tau\alpha} \cdot E_{\text{dia}_i} \cdot N_{\text{dia}_i}$$

$$D_{1_i} := \frac{E_{a_i}}{Q_{c_i}}$$

4.- Calculo del parámetro D2: energía perdida por el captador / carga calorífica

$$F_{RU} := 4.821 \cdot \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

F_{RU} : pendiente de la curva característica del captador.

E_p : energía perdida.

S_c : superficie de captación.

T_{ref} : temeperatura de referencia (normalmente 100 °C)

T_a : Temperatura ambiente.

Δt : intervalo de tiempo estudiado (en segundos).

Q_c : carga calorífica.

$$F'_{RU} := F_{RU} \cdot \text{CCI}$$

$$\Delta t_i := N_{\text{dia}_i} \cdot 24 \text{hr}$$

$$T_{ref} := 373K$$

Temperatura ambiente:

$$t_e :=$$



..\temperatura_exterior.txt

Temperaturas medias por mes:

$$\text{Enero: } t_{a_1} := \frac{\sum_{n=1}^{744} t_{e_n}}{744} = 5.831$$

$$T_{a_1} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Julio: } t_{a_7} := \frac{\sum_{n=4345}^{5088} t_{e_n}}{744} = 27.087$$

$$T_{a_7} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Febrero: } t_{a_2} := \frac{\sum_{n=745}^{1416} t_{e_n}}{672} = 4.983$$

$$T_{a_2} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Agosto: } t_{a_8} := \frac{\sum_{n=5089}^{5832} t_{e_n}}{744} = 25.808$$

$$T_{a_8} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Marzo: } t_{a_3} := \frac{\sum_{n=1417}^{2160} t_{e_n}}{744} = 10.732$$

$$T_{a_3} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Abril: } t_{a_4} := \frac{\sum_{n=2161}^{2880} t_{e_n}}{720} = 15.206$$

$$T_{a_4} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Mayo: } t_{a_5} := \frac{\sum_{n=2881}^{3624} t_{e_n}}{744} = 18.81$$

$$T_{a_5} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Junio: } t_{a_6} := \frac{\sum_{n=3625}^{4344} t_{e_n}}{720} = 25.466$$

$$T_{a_6} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Septiembre: } t_{a_9} := \frac{\sum_{n=5833}^{6552} t_{e_n}}{720} = 22.374$$

$$T_{a_9} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Octubre: } t_{a_{10}} := \frac{\sum_{n=6553}^{7296} t_{e_n}}{744} = 16.044$$

$$T_{a_{10}} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Noviembre: } t_{a_{11}} := \frac{\sum_{n=7297}^{8016} t_{e_n}}{720} = 11.432$$

$$T_{a_{11}} := (t_{a_1} + 273)K$$

$$\text{Diciembre: } t_{a_{12}} := \frac{\sum_{n=8017}^{8760} t_{e_n}}{744} = 8.178$$

$$T_{a_{12}} := (t_{a_1} + 273)K$$

Coefficiente K_1 :

$$K_1 := \left(\frac{V_{alm} \cdot \rho_{agua} \cdot kg^{-1}}{75 \cdot S \cdot m^{-2}} \right)^{-0.25}$$

$$K_1 = 0.74$$

K_1 : factor de corrección por almacenamiento.
 $37.5 < (kg \text{ acum})/(m^2 \text{ captador}) < 300$

$$\frac{(V_{alm} \cdot \rho_{agua})}{S} = 250 \frac{kg}{m^2}$$

$$E_{p_i} := S \cdot F_{RU} \cdot (T_{ref} - T_{a_i}) \cdot \Delta t_i \cdot K_1$$

$$D_2 := \frac{E_p}{Q_c}$$

5.- Determinación de f :

$$f_i := 1.029 \cdot D_{1_i} - 0.065 \cdot D_{2_i} - 0.245 \cdot (D_{1_i})^2 + 0.0018 \cdot (D_{2_i})^2 + 0.0215 \cdot (D_{1_i})^3$$

$$\text{Calor útil captado: } Q_{u_i} := f_i \cdot Q_{c_i}$$

$f =$		1	$Q_u =$		1	$\cdot kW \cdot hr$
	1	0.35		1	73.42	
	2	0.552		2	104.441	
	3	0.819		3	165.054	
	4	0.984		4	184.265	
	5	1.107		5	205.309	
	6	1.18		6	197.968	
	7	1.208		7	194.86	
	8	1.152		8	190.433	
	9	1.015		9	170.279	
	10	0.73		10	138.242	
	11	0.457		11	89.222	
	12	0.301		12	63.036	

6.- Cobertura solar mensual:

Aporte solar mensual: APS

$$APS := \frac{Q_u}{Q_c}$$

7.- Cobertura solar anual:

$$ASA := \frac{\sum_{n=1}^{12} Q_{u_n}}{\sum_{n=1}^{12} Q_{c_n}} = 0.797$$

$$\sum_{n=1}^{12} Q_{u_n} = 1.777 \cdot MW \cdot hr$$

$$\sum_{n=1}^{12} Q_{c_n} = 2.229 \cdot MW \cdot hr$$

8.- Demanda que queda sin cubrir:

Obtenemos la demanda energética que queda sin cubrir con la instalación solar, y por tanto la energía que debe aportar el sistema auxiliar:

$$Q_{dem_sin_cubrir_i} := Q_{c_i} - Q_{u_i}$$

$$Q_{dem_sin_cubrirT1} := \sum_{i=1}^4 Q_{dem_sin_cubrir_i} = 260.628 \cdot kW \cdot hr$$

$$Q_{dem_sin_cubrirT2} := \sum_{i=10}^{12} Q_{dem_sin_cubrir_i} = 303.674 \cdot kW \cdot hr$$

$$Q_{dem_sin_cubrirT} := Q_{dem_sin_cubrirT1} + Q_{dem_sin_cubrirT2} = 564.302 \cdot kW \cdot hr$$

3.- INSTALACIÓN TÉRMICA PARA CALEFACTAR EL EDIFICIO

Importamos los datos de carga térmica de calefacción:

$$q_{cal} := \text{Import}(\text{D:\...}\backslash \text{Carga de calefaccion.dat})$$

$$Q_{cal} := q_{cal} \cdot W$$

$$i := 0 \dots \text{rows}(Q_{cal}) - 1$$

$$n_i := \text{ceil}\left(\frac{i+1}{24}\right)$$

$$h_o := 0 \dots 23$$

$$\text{hora}_{h_o} := h_o$$

$$h := \begin{cases} h \leftarrow \text{hora} \\ \text{for } j \in 0 \dots 363 \\ \quad h \leftarrow \text{stack}(h, \text{hora}) \\ h \end{cases}$$

$$\Delta t := 1 \cdot \text{hr}$$

$$P_{cal} := \max(Q_{cal}) = 7.996 \cdot \text{kW}$$

$$E_{calT} := \sum_i (Q_{cal_i} \cdot \Delta t) = 2.082 \times 10^4 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Energía consumida en cada hora:

$$E_{cal} := Q_{cal} \cdot \Delta t$$

A esta carga de calefacción debemos sumarle la carga de ACS no cubierta por la instalación solar:

$$e_{ACS} := \text{Import}(\text{D:\...}\backslash \text{Demanda ACS sin cubrir.dat})$$

$$E_{ACS} := e_{ACS} \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

El período de calefacción comprende los meses de Enero, Febrero, Marzo, Abril, Octubre, Noviembre y Diciembre. Dividiremos la carga de ACS de cada mes entre las horas de cada mes para sumárselo a la carga de calefacción.

$$\text{Enero: } E_{ACS_ene} := \frac{E_{ACS_0}}{31} = 4.394 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$\begin{aligned}
\text{Febrero: } E_{ACS_feb} &:= \frac{E_{ACS_1}}{28} = 3.032 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
\text{Marzo: } E_{ACS_mar} &:= \frac{E_{ACS_2}}{31} = 1.178 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
\text{Abril: } E_{ACS_abr} &:= \frac{E_{ACS_3}}{30} = 0.1 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
\text{Octubre: } E_{ACS_oct} &:= \frac{E_{ACS_9}}{31} = 1.653 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
\text{Noviembre: } E_{ACS_nov} &:= \frac{E_{ACS_{10}}}{30} = 3.528 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
\text{Diciembre: } E_{ACS_dic} &:= \frac{E_{ACS_{11}}}{31} = 4.729 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}
\end{aligned}$$

Consideraremos que esta carga de ACS se consume, cada día, entre las 8 y las 9 horas y las 20 y las 21 horas. Así, obtenemos la nueva carga térmica a la que deberá hacer frente la caldera como la suma de la carga de calefacción y la fracción de ACS no cubierta por la instalación solar:

$$E_{T_i} := \begin{cases} \left(E_{cal_i} + \frac{E_{ACS_ene}}{4} \right) & \text{if } 0 \leq i \leq 743 \wedge (8 \leq h_i \leq 9 \vee 20 \leq h_i \leq 21) \\ \left(E_{cal_i} + \frac{E_{ACS_feb}}{4} \right) & \text{if } 744 \leq i \leq 1415 \wedge (8 \leq h_i \leq 9 \vee 20 \leq h_i \leq 21) \\ \left(E_{cal_i} + \frac{E_{ACS_mar}}{4} \right) & \text{if } 1416 \leq i \leq 2159 \wedge (8 \leq h_i \leq 9 \vee 20 \leq h_i \leq 21) \\ \left(E_{cal_i} + \frac{E_{ACS_abr}}{4} \right) & \text{if } 2160 \leq i \leq 2879 \wedge (8 \leq h_i \leq 9 \vee 20 \leq h_i \leq 21) \\ \left(E_{cal_i} + \frac{E_{ACS_oct}}{4} \right) & \text{if } 6552 \leq i \leq 7295 \wedge (8 \leq h_i \leq 9 \vee 20 \leq h_i \leq 21) \\ \left(E_{cal_i} + \frac{E_{ACS_nov}}{4} \right) & \text{if } 7296 \leq i \leq 8015 \wedge (8 \leq h_i \leq 9 \vee 20 \leq h_i \leq 21) \\ \left(E_{cal_i} + \frac{E_{ACS_dic}}{4} \right) & \text{if } 8016 \leq i \leq 8759 \wedge (8 \leq h_i \leq 9 \vee 20 \leq h_i \leq 21) \\ E_{cal_i} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$Q_{calT} := \sum_i (E_{T_i}) = 2.138 \times 10^4 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Teniendo en cuenta el rendimiento de la caldera de pellets:

$$\eta_{cald} := 0.953$$

$$E_{eq_cal_i} := \frac{E_{T_i}}{\eta_{cald}}$$

Entonces ahora tenemos:

$$E_{eq_calT} := \sum_i (E_{eq_cal_i}) = 2.244 \times 10^4 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

En términos de potencia:

$$Q_{eq_cal_i} := \frac{E_{eq_cal_i}}{\Delta t}$$

$$P_{eq_cal} := \max(Q_{eq_cal}) = 9.492 \times 10^3 \text{ W}$$

Una vez obtenida la energía consumida cada hora del año, obtenemos el consumo de la caldera cada hora del año:

Contenido energético Pellet: 5 kWh/kg

$$CEP := 5 \cdot \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{kg}} = 1.8 \times 10^7 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

$$C_{\text{w}} := \frac{E_{eq_cal_i}}{CEP}$$

Consumo total de pellets en un año:

$$C_T := \sum_i C_i = 4.488 \times 10^3 \text{ kg}$$

Cantidad energía almacenada:

$$E_{alm} := C_T \cdot 5 \cdot \frac{\text{kW} \cdot \text{hr}}{\text{kg}} = 2.244 \times 10^4 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

4.- EQUIPO DE COMPRESIÓN MECÁNICA PARA REFRIGERAR EL EDIFICIO

Importamos los datos de temperatura ambiente y carga térmica de refrigeración:

$$q_{\text{ref}} := \text{D:\...}\backslash \text{Carga de refrigeracion.dat}$$

$$t_{\text{amb}} := \text{...}\backslash \text{temperatura_exterior.txt}$$

$$Q_{\text{ref}} := q_{\text{ref}} \cdot W$$

$$i := 0.. \text{rows}(Q_{\text{ref}}) - 1$$

$$n_i := \text{ceil}\left(\frac{i+1}{24}\right)$$

$$h_0 := 0..23$$

$$\text{hora}_{h_0} := h_0$$

$$h := \begin{cases} h \leftarrow \text{hora} \\ \text{for } j \in 0..363 \\ \quad h \leftarrow \text{stack}(h, \text{hora}) \\ h \end{cases}$$

$$\Delta t := 1 \text{ hr}$$

$$P_{\text{ref}} := \max(Q_{\text{ref}}) = 9.24 \cdot \text{kW}$$

$$E_{\text{ref}} := \sum_i (Q_{\text{ref}_i} \cdot \Delta t) = 1.193 \times 10^4 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Modelo de equipo de compresión mecánica:

Evaporador y condensador intercambiadores aire-líquido.

Temperaturas de evaporación y condensación:

$$t_E := 5$$

$$t_C := 55$$

$$T_E := (t_E + 273) \cdot \text{K}$$

$$T_C := (t_C + 273) \cdot \text{K}$$

Calculamos el Coeficiente de Eficiencia Energética Ideal:

$$\text{CEE}_{\text{ideal}} := \frac{T_E}{T_C - T_E}$$

$$Q_E := Q_{ref}$$

$$E_{E_i} := Q_{ref_i} \cdot \Delta t$$

$$W_{Comp} := \frac{Q_E}{CEE_{ideal}} \quad E_{Comp} := \frac{E_E}{CEE_{ideal}}$$

$$Q_{Cond} := Q_E + W_{Comp}$$

$$E_{Cond} := Q_{Cond} \cdot \Delta t$$

Por tanto el consumo total:

$$W_T := W_{Comp}$$

$$E_T := E_{Comp}$$

Calculamos un nuevo CEE:

$$CEE_{ideal_i} := \frac{Q_{E_i}}{W_{T_i}}$$

Definimos:

Rendimiento isoentrópico: $\eta_s := 0.85$

Rendimiento indicado: $\eta_i := 0.9$

Rendimiento mecánico: $\eta_m := 0.95$

Rendimiento del motor eléctrico: $\eta_e := 0.87$

$$CEE_{isoentropico} := CEE_{ideal} \cdot \eta_s$$

$$CEE_{indicado} := CEE_{ideal} \cdot \eta_i \cdot \eta_s$$

$$CEE_{mecanico} := CEE_{ideal} \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_s$$

$$CEE_{electrico} := CEE_{ideal} \cdot \eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_e \cdot \eta_s$$

$$\max(CEE_{electrico}) = 3.515$$

$$W_{e_i} := \frac{W_{T_i}}{\eta_i \cdot \eta_m \cdot \eta_e \cdot \eta_s}$$

$$E_{e_i} := W_{e_i} \cdot \Delta t$$

Energía total consumida período refrigeración:

$$E_{eT} := \sum_i E_{e_i} = 3.394 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Energía consumida en cada mes del período de refrigeración:

$$E_{\text{mayo}} := \sum_{i=2880}^{3623} E_{e_i} = 350.293 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$E_{\text{junio}} := \sum_{i=3624}^{4343} E_{e_i} = 812.013 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

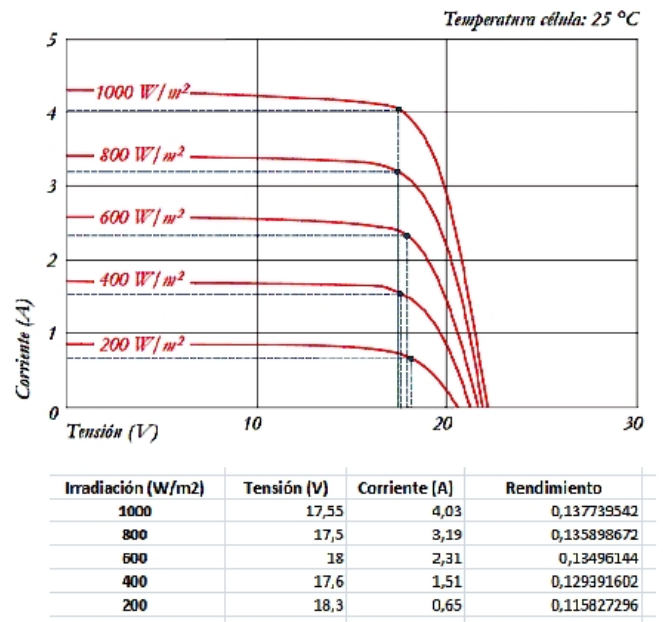
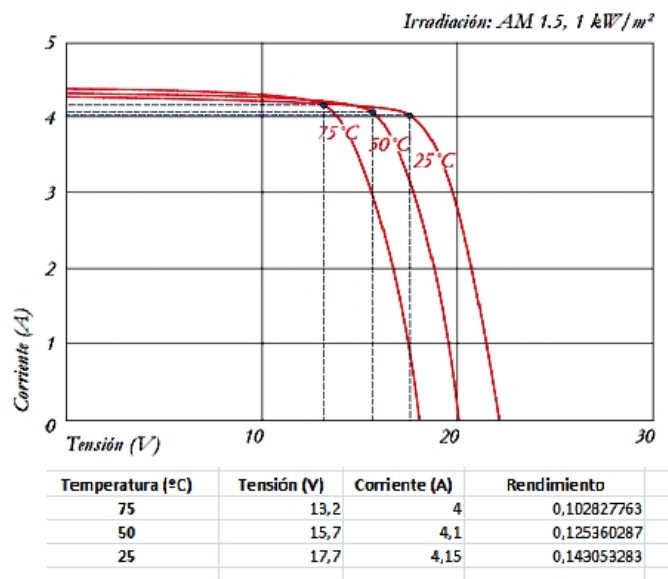
$$E_{\text{julio}} := \sum_{i=4344}^{5087} E_{e_i} = 866.445 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$E_{\text{agosto}} := \sum_{i=5088}^{5831} E_{e_i} = 786.434 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$E_{\text{septiembre}} := \sum_{i=5832}^{6551} E_{e_i} = 578.347 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

5.- INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA

Módulos fotovoltaicos:



Área módulo:

$$\text{Area} := 0.51348 \text{ m}^2$$

Temperatura ambiente:

$$t_e :=$$



..temperatura_exterior.txt

Irradiación global:

$$G_g :=$$



..Irradiación global AS.txt

Valores de la irradiación global sobre la superficie inclinada.

$$G_{ww} := G_g \cdot \frac{W}{m}$$

$$i := 0.. \text{rows}(t_e) - 1$$

$$n_i := \text{ceil}\left(\frac{i+1}{24}\right)$$

$$h_o := 0..23$$

$$\text{hora}_{h_o} := h_o$$

$$h := \begin{cases} h \leftarrow \text{hora} \\ \text{for } j \in 0..363 \\ h \leftarrow \text{stack}(h, \text{hora}) \\ h \end{cases}$$

$$\Delta t := 1 \text{ hr} \quad \text{incremento de tiempo}$$

Temperatura de células fotovoltaicas:

$$T_{ONC} := 49$$

$$T_{\text{celda}_i} := t_{e_i} + \left(\frac{T_{ONC} - 20}{800 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} \right) \cdot G_i$$

Rendimiento de la célula fotovoltaica:

$$\eta_i := -0.0008 \cdot T_{\text{celda}_i} + 0.164$$

Energía generada por módulo fotovoltaico:

Potencia generada por cada módulo fotovoltaico:

$$P_{\text{gen}_i} := \eta_i \cdot G_i \cdot \text{Area}$$

$$E_{\text{gen}_i} := P_{\text{gen}_i} \cdot \Delta t$$

Rendimiento del inversor: $\eta_{\text{inv}} := 0.96$

$$P_{\text{gen}_T} := P_{\text{gen}_i} \cdot \eta_{\text{inv}}$$

$$E_{\text{gen}_T} := P_{\text{gen}_T} \cdot \Delta t$$

1 de Enero: $\text{enero} := 0..23$

1 de Marzo: $\text{marzo} := 1416..1439$

1 de Mayo: $\text{mayo} := 2880..2903$

1 de Julio: $\text{julio} := 4344..4367$

1 de Septiembre: $\text{sept} := 5832..5855$

1 de Noviembre: $\text{nov} := 7296..7319$

Potencia generada en cada mes del año:

$$\text{Enero: } E_{\text{gen_ene}} := \sum_{i=0}^{743} (P_{\text{gen}_T_i} \cdot \Delta t) = 5.818 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$\text{Julio: } E_{\text{gen_jul}} := \sum_{i=4344}^{5087} (P_{\text{gen}_T_i} \cdot \Delta t) = 14.061 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$\text{Febrero: } E_{\text{gen_feb}} := \sum_{i=744}^{1415} (P_{\text{gen}_T_i} \cdot \Delta t) = 5.647 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$\text{Agosto: } E_{\text{gen_ago}} := \sum_{i=5088}^{5831} (P_{\text{gen}_T_i} \cdot \Delta t) = 13.833 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$\text{Marzo: } E_{\text{gen_mar}} := \sum_{i=1416}^{2159} (P_{\text{gen}_T_i} \cdot \Delta t) = 9.423 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$\text{Septiembre: } E_{\text{gen_sep}} := \sum_{i=5832}^{6551} (P_{\text{gen}_T_i} \cdot \Delta t) = 9.898 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$\begin{aligned}
\text{Abril: } E_{\text{gen_abr}} &:= \sum_{i=2160}^{2879} (P_{\text{gen_T}_i} \cdot \Delta t) = 11.485 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} & \text{Octubre: } E_{\text{gen_oct}} &:= \sum_{i=6552}^{7295} (P_{\text{gen_T}_i} \cdot \Delta t) = 7.613 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
\text{Mayo: } E_{\text{gen_may}} &:= \sum_{i=2880}^{3623} (P_{\text{gen_T}_i} \cdot \Delta t) = 12.814 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} & \text{Noviembre: } E_{\text{gen_nov}} &:= \sum_{i=7296}^{8015} (P_{\text{gen_T}_i} \cdot \Delta t) = 5.254 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
\text{Junio: } E_{\text{gen_jun}} &:= \sum_{i=3624}^{4343} (P_{\text{gen_T}_i} \cdot \Delta t) = 13.122 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} & \text{Diciembre: } E_{\text{gen_dic}} &:= \sum_{i=8016}^{8759} (P_{\text{gen_T}_i} \cdot \Delta t) = 4.118 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}
\end{aligned}$$

Energía producida en todo el año por módulo fotovoltaico:

$$E_{\text{gen_T}} := E_{\text{gen_ene}} + E_{\text{gen_feb}} + E_{\text{gen_mar}} + E_{\text{gen_abr}} + E_{\text{gen_may}} + E_{\text{gen_jun}} + E_{\text{gen_jul}} + E_{\text{gen_ago}} + E_{\text{gen_sep}} + E_{\text{gen_oct}} + E_{\text{gen_nov}} + E_{\text{gen_dic}} = 113.085 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Demanda de electricidad:

Demanda anual de electricidad (sin refrigeración):

$$\begin{aligned}
D_{\text{e_ene_feb}} &:= 530 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} & D_{\text{e_jul_ago}} &:= 437.27 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{e_mar_abr}} &:= 450 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} & D_{\text{e_sep_oct}} &:= 459 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{e_may_jun}} &:= 435 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} & D_{\text{e_nov_dic}} &:= 609 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}
\end{aligned}$$

$$D_{\text{e_T}} := D_{\text{e_ene_feb}} + D_{\text{e_mar_abr}} + D_{\text{e_may_jun}} + D_{\text{e_jul_ago}} + D_{\text{e_sep_oct}} + D_{\text{e_nov_dic}} = 2.92 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Demanda anual de electricidad para refrigeración:

$$\begin{aligned}
D_{\text{ref_mayo}} &:= 350.293 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{ref_junio}} &:= 812.013 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{ref_julio}} &:= 866.445 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{ref_agosto}} &:= 786.434 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{ref_septiembre}} &:= 578.347 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}
\end{aligned}$$

$$D_{\text{ref_T}} := D_{\text{ref_mayo}} + D_{\text{ref_junio}} + D_{\text{ref_julio}} + D_{\text{ref_agosto}} + D_{\text{ref_septiembre}} = 3.394 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

La demanda total de electricidad:

$$\begin{aligned}
D_{\text{T_ene_feb}} &:= D_{\text{e_ene_feb}} = 530 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{T_mar_abr}} &:= D_{\text{e_mar_abr}} = 450 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{T_may_jun}} &:= D_{\text{e_may_jun}} + D_{\text{ref_mayo}} + D_{\text{ref_junio}} = 1.597 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{T_jul_ago}} &:= D_{\text{e_jul_ago}} + D_{\text{ref_julio}} + D_{\text{ref_agosto}} = 2.09 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{T_sep_oct}} &:= D_{\text{e_sep_oct}} + D_{\text{ref_septiembre}} = 1.037 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr} \\
D_{\text{T_nov_dic}} &:= D_{\text{e_nov_dic}} = 609 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}
\end{aligned}$$

$$D_T := D_{T_ene_feb} + D_{T_mar_abr} + D_{T_may_jun} + D_{T_jul_ago} + D_{T_sep_oct} + D_{T_nov_dic} = 6.314 \times 10^3 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$$

Dimensionado de la instalación fotovoltaica:

Finalmente, obtenemos el número de paneles fotovoltaicos que necesitamos:

$$n_{\text{paneles}} := \frac{D_T}{E_{\text{gen}_T}} = 55.833 \quad \text{Tomaremos 56 paneles}$$

Por lo tanto, la energía que generan los 56 módulos fotovoltaicos será:

$$P_{\text{gen}_T_56} := P_{\text{gen}_T} \cdot 56$$

$$E_{\text{gen}_T_56} := P_{\text{gen}_T_56} \cdot \Delta t$$

Energía total generada en un año:

$$E_{\text{gen}_T} := \sum_i (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 6.333 \times 10^3 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$$

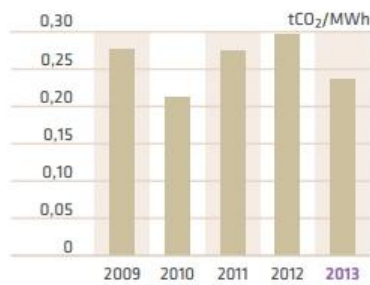
Energía total generada cada mes del año:

Enero:	$E_{\text{gen}_T_ene} := \sum_{i=0}^{743} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 325.83 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$	Julio:	$E_{\text{gen}_T_jul} := \sum_{i=4344}^{5087} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 787.408 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$
Febrero:	$E_{\text{gen}_T_feb} := \sum_{i=744}^{1415} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 316.216 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$	Agosto:	$E_{\text{gen}_T_ago} := \sum_{i=5088}^{5831} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 774.638 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$
Marzo:	$E_{\text{gen}_T_mar} := \sum_{i=1416}^{2159} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 527.681 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$	Septiembre:	$E_{\text{gen}_T_sep} := \sum_{i=5832}^{6551} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 554.282 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$
Abril:	$E_{\text{gen}_T_abr} := \sum_{i=2160}^{2879} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 643.16 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$	Octubre:	$E_{\text{gen}_T_oct} := \sum_{i=6552}^{7295} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 426.306 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$
Mayo:	$E_{\text{gen}_T_may} := \sum_{i=2880}^{3623} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 717.573 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$	Noviembre:	$E_{\text{gen}_T_nov} := \sum_{i=7296}^{8015} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 294.234 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$
Junio:	$E_{\text{gen}_T_jun} := \sum_{i=3624}^{4343} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 734.809 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$	Diciembre:	$E_{\text{gen}_T_dic} := \sum_{i=8016}^{8759} (P_{\text{gen}_T_56_i} \cdot \Delta t) = 230.607 \cdot \text{kW}\cdot\text{hr}$

6.- ANÁLISIS AMBIENTAL

Emisiones de CO₂ en la producción eléctrica española:

Evolución del factor de emisión asociado a la generación de energía eléctrica



Cobertura de la demanda de energía eléctrica peninsular 2013⁽¹⁾



(1) No incluye la generación de bombeo. (2) Incluye fuel-gas y térmica no renovable.

$$E_e := 0.24 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}$$

Emisiones de CO₂ de los combustibles:

$$E_{GN} := 0.220 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}$$

$$E_{GLP} := 0.235 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}$$

$$E_{\text{Gasoleo}} := 0.269 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}$$

$$E_{\text{Carbon}} := 0.402 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{kW} \cdot \text{hr}}$$

Análisis de la instalación solar fotovoltaica:

Demanda de electricidad del edificio:

$$D_{\text{elec}} := 6314 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Emisiones de CO₂ al año sin la instalación solar:

$$E_{\text{CO}_2 \text{ elect}} := E_e \cdot D_{\text{elec}} = 1.515 \times 10^3 \cdot \text{kg}$$

Electricidad producida por la instalación: $W_{\text{gen}} := 6333 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$

$$W_{\text{gen_mes}_1} := 325.83 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_7} := 787.408 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_2} := 316.216 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_8} := 774.638 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_3} := 527.681 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_9} := 554.282 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_4} := 643.16 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_{10}} := 426.306 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_5} := 717.573 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_{11}} := 294.234 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_6} := 734.809 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_mes}_{12}} := 230.607 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$W_{\text{gen_total}} := \sum_{j=1}^{12} W_{\text{gen_mes}_j} = 6.333 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Ahorro de CO₂ con la instalación fotovoltaica:

$$\Delta \text{CO2}_{\text{fot_mes}} := W_{\text{gen_mes}} \cdot E_e$$

$$\Delta \text{CO2}_{\text{fot}} := E_e \cdot W_{\text{gen}} = 1.52 \times 10^3 \cdot \text{kg}$$

Ahorro de combustibles fósiles:

14.6% de la demanda peninsular carbón. Rdto planta carbón: 30%

$$\text{PCI}_{\text{carbon}} := 25 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

9.6% ciclo combinado de la demanda peninsular. Rdto planta ciclo combinado: 40%

$$\text{PCI}_{\text{GN}} := 45 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 12.5 \cdot \text{kW} \cdot \frac{\text{hr}}{\text{kg}}$$

$$m_{\text{carbon}} := \frac{W_{\text{gen}} \cdot 0.146}{0.3 \cdot \text{PCI}_{\text{carbon}}} = 443.817 \text{ kg}$$

$$m_{\text{GN}} := \frac{W_{\text{gen}} \cdot 0.096}{0.4 \cdot \text{PCI}_{\text{GN}}} = 121.594 \text{ kg}$$

Análisis de la instalación solar térmica:

Carga calorífica de ACS total anual: $Q_{\text{cT}} := 2229 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$

Demanda que queda sin cubrir: $Q_{\text{dem_sin_cubrir}} := 564.302 \text{ kW} \cdot \text{hr}$

Energía útil de los paneles al año: $E_u := Q_{\text{cT}} - Q_{\text{dem_sin_cubrir}} = 1.665 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$

Si esta energía necesaria la obtuviéramos de una caldera convencional de gas natural con un rendimiento del 90%, tenemos que la energía necesaria es:

$$\eta_{\text{cald}} := 0.9$$

$$E_{\text{caldGN_ACS}} := \frac{E_u}{\eta_{\text{cald}}} = 1.85 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Emisiones de CO₂ que evitamos al año con la instalación solar:

$$E_{\text{CO2_solar}} := E_{\text{GN}} \cdot E_{\text{caldGN_ACS}} = 406.926 \text{ kg}$$

Nota: No tenemos en cuenta el aporte solar a la piscina fruto del exceso de energía en los meses de verano.

Análisis de la caldera de biomasa:

La caldera de biomasa proporciona la energía necesaria para la calefacción así como la parte de la demanda de ACS no cubierta por la instalación solar.

$$E_{\text{cald}} :=$$



...\\Energía caldera biomasa.dat

$$i := 0.. \text{rows}(E_{\text{cald}}) - 1$$

$$n_i := \text{ceil}\left(\frac{i+1}{24}\right)$$

$$E_{\text{cald_biomasa}} := E_{\text{cald}} \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$E_{\text{cald_biomasaT}} := \sum_i (E_{\text{cald_biomasa}_i}) = 2.138 \times 10^4 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Si esta energía la obtuviéramos con una caldera convencional de gas natural con un rendimiento del 90% tenemos que:

$$E_{\text{caldGN_cald}} := \frac{E_{\text{cald_biomasa}}}{\eta_{\text{cald}}}$$

$$E_{\text{caldGN_cal}} := \sum_i (E_{\text{caldGN_cald}_i}) = 2.376 \times 10^4 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

$$E_{\text{caldGN_calT}} := \frac{E_{\text{cald_biomasaT}}}{\eta_{\text{cald}}} = 2.376 \times 10^4 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Si consideramos que la biomasa tiene potencial de efecto invernadero nulo al igual que las instalaciones solares, las emisiones de CO₂ que evitamos al año con la caldera de biomasa son:

$$E_{\text{CO2_biomasa}} := E_{\text{GN}} \cdot E_{\text{caldGN_cald}}$$

$$E_{\text{CO2_biomasaT}} := \sum_i (E_{\text{CO2_biomasa}_i}) = 5.227 \times 10^3 \cdot \text{kg}$$

$$E_{\text{CO2_biomasaT}} := E_{\text{GN}} \cdot E_{\text{caldGN_cal}} = 5.227 \times 10^3 \cdot \text{kg}$$

Ahorro total anual de emisiones de CO₂:

$$E_{\text{CO2}} := \Delta \text{CO2}_{\text{fot}} + E_{\text{CO2_solar}} + E_{\text{CO2_biomasaT}} = 7.154 \times 10^3 \cdot \text{kg}$$

7.- ANÁLISIS ECONÓMICO

Análisis de la instalación solar térmica:

Obtenemos la masa de gas natural que te ahorras al tener la instalación solar térmica.

$$\text{Poder calorífico inferior del GN: } \text{PCI}_{\text{GN}} := 45 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}} = 12.5 \cdot \text{kW} \cdot \frac{\text{hr}}{\text{kg}}$$

Suponiendo una caldera de gas con un rendimiento del 90%: $\eta_{\text{cald}} := 0.9$

$$m_{\text{gas}} := \frac{E_u}{\eta_{\text{cald}} \cdot \text{PCI}_{\text{GN}}} = 147.973 \text{ kg}$$

$$E_{\text{caldGN}} := m_{\text{gas}} \cdot \text{PCI}_{\text{GN}} = 1.85 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Precio del gas natural:

Tarifas de último recurso (TUR) de suministro de gas natural:

La resolución de 28 de enero de 2014, de la Dirección General de Política Energética y Minas, donde se han establecido los precios TUR, se ha publicado en el BOE del jueves 30 de enero de 2014.

Tarifa TUR	Consumo anual	Tarifas gas M.R.	T. Fijo €/mes	T. Variable cent€/kWh
TUR 1	C < 5.000 kWh	3.1	4,380000	5,727308
TUR 2	5.000 < C < 50.000 kWh	3.2	8,880000	5,039908

Fuente: Gas Natural Fenosa

Usando la tarifa TUR 2:

$$\text{Fijo2} := 8.88 \cdot 12 = 106.56 \text{ €}$$

$$\text{Variable2} := 5.039908 \cdot \frac{1}{\text{kW} \cdot \text{hr}} \cdot E_{\text{caldGN}} \cdot \frac{1}{100} = 93.221 \text{ €}$$

$$\text{Total_sin_IVA2} := \text{Fijo2} + \text{Variable2} = 199.781 \text{ €}$$

$$\text{Total_con_IVA2} := \text{Total_sin_IVA2} \cdot 1.21 = 241.735 \text{ €} \quad (\text{IVA: 21\%})$$

Ahorro anual de 241,735 € al no necesitar comprar gas natural para ACS.

Precio de una instalación solar térmica para ACS: 600-1000 €/m²

Tomaremos 600 €/m²

$$S_{\text{col}} := 3.54 \cdot \text{m}^2$$

$$\text{Inversion_inicial} := 600 \cdot \frac{1}{\text{m}^2} \cdot S_{\text{col}} = 2.124 \times 10^3 \text{ €}$$

$$\text{Ahorro} := 241.735$$

$$I_0 := \text{Inversion_inicial}$$

$$\text{FC} := \text{Ahorro}$$

$$i := 0.09$$

$$VAN := \begin{cases} \text{for } j \in 0..25 \\ VAN_j \leftarrow -I_0 + \left[\sum_{n=0}^j \left[FC \cdot \frac{1}{(1+i)^n} \right] \right] \\ VAN \end{cases}$$

Análisis de la instalación solar fotovoltaica:

1.- Sin tener en cuenta ningún tipo de subvención o prima:

$$D_{elec} = 6.314 \times 10^3 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Precio de la electricidad:

Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC) de suministro de electricidad:

La resolución de 30 de diciembre de 2013, de la Dirección General de Política Energética y Minas, donde se han establecido los precios PVPC, se ha publicado en el BOE del martes 31 de diciembre de 2013.

Baja tensión	Término potencia €/kW y mes	Término de energía €/kWh
PVPC Potencia ≤ 10 kW	3,50361883	0,124107

Fuente: Gas Natural Fenosa

Tomando la tarifa PVPC anterior y una potencia contratada de 5.5 kW, tenemos:

$$\text{Fijo_elec} := 3.50361883 \cdot 12 \cdot 5.5 = 231.239 \quad \text{€}$$

$$\text{Variable_elec} := 0.124107 \cdot 6314 = 783.612 \quad \text{€}$$

$$\text{Total_sin_IVA_elec} := \text{Fijo_elec} + \text{Variable_elec} = 1.015 \times 10^3 \quad \text{€}$$

$$\text{Total_con_IVA_elec} := \text{Total_sin_IVA_elec} \cdot 1.21 = 1.228 \times 10^3 \quad \text{€}$$

$$\text{Coste_elec} := \text{Total_con_IVA_elec} = 1.228 \times 10^3 \quad \text{€}$$

Obtenemos un coste de compra de electricidad de 1228 €.

Precio de la instalación fotovoltaica:

Precio por Wp instalado: 2.7 €

$$\text{Inversion inicial: } I_{0_elec} := 10900 \quad \text{€}$$

$$\text{Ahorro_elec} := 1228 \quad \text{€}$$

El ahorro es el coste de la electricidad, ya que tu vas a vender/comprar la electricidad producida/demandada al mismo precio, y por lo tanto cada año es como si no pagaras nada por la electricidad.

$$FC := \text{Ahorro_elec}$$

$$i_a := 0.09$$

$$VAN := \begin{cases} \text{for } j \in 0..25 \\ VAN_j \leftarrow -I_{0_elec} + \left[\sum_{n=0}^j \left[FC \cdot \frac{1}{(1+i)^n} \right] \right] \\ VAN \end{cases}$$

2.- Considerando prima de producción fotovoltaica (RD 661/2007):

$$D_{elec} = 6.314 \times 10^3 \text{ kW}\cdot\text{hr}$$

Ya teníamos:

$$\text{Coste_elec} = 1.228 \times 10^3 \text{ €}$$

Obtenemos un ahorro anual de compra de electricidad de 1228 €.

Además, la prima contemplada en el RD 661/2007 es: (subgrupo b.1.1.)

P<100 kW --> Primeros 25 años: 44,0381 c€/kWh

A partir de entonces: 35,2305 c€/kWh

Si lo hacemos para los primeros 25 años:

$$W_{\text{gen}} := 6333 \text{ kW}\cdot\text{hr}$$

$$\text{Prima} := 6333 \cdot 0.440381 = 2.789 \times 10^3 \text{ €}$$

Teniendo en cuenta esta prima, como la electricidad la tendrás que comprar al precio de mercado, el gasto de 1228 € lo tendrás igual, por lo tanto el ahorro que conseguirás cada año es:.

$$\text{Ahorro} := \text{Prima} + \text{Coste_elec} = 4.017 \times 10^3 \text{ €}$$

$$i_a := 0.0145$$

$$\text{VAN} := \begin{cases} \text{for } j \in 0..25 \\ \text{VAN}_j \leftarrow -I_{0_elec} + \left[\sum_{n=0}^j \left[\text{FC} \cdot \frac{1}{(1+i)^n} \right] \right] \\ \text{VAN} \end{cases}$$

Análisis de la instalación de una caldera de biomasa:

Obtenemos la masa de gas natural que te ahorras al tener la caldera de biomasa.

$$\text{Poder calorífico inferior del GN: } \text{PCI}_{GN} := 45 \cdot 10^6 \cdot \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Suponiendo una caldera de gas con un rendimiento del 90%: $\eta_{cald} := 0.9$

$$E_{caldera} := 2.138 \times 10^4 \text{ kW}\cdot\text{hr}$$

$$m_{\text{gas}} := \frac{E_{caldera}}{\eta_{cald} \cdot \text{PCI}_{GN}} = 1.9 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$E_{caldGN} := m_{\text{gas}} \cdot \text{PCI}_{GN} = 2.376 \times 10^4 \text{ kW}\cdot\text{hr}$$

Precio del gas natural:

Tarifas de último recurso (TUR) de suministro de gas natural:

La resolución de 28 de enero de 2014, de la Dirección General de Política Energética y Minas, donde se han establecido los precios TUR, se ha publicado en el BOE del jueves 30 de enero de 2014.

Tarifa TUR	Consumo anual	Tarifas gas M.R.	T. Fijo €/mes	T. Variable cent€/kWh
TUR 1	C < 5.000 kWh	3.1	4,380000	5,727308
TUR 2	5.000 < C < 50.000 kWh	3.2	8,880000	5,039908

Fuente: Gas Natural Fenosa

Usando la tarifa TUR 2:

$$\text{Fijo} := 8.88 \cdot 12 = 106.56 \text{ €}$$

$$\text{Variable} := 5.039908 \cdot \frac{1}{\text{kW} \cdot \text{hr}} \cdot E_{\text{caldGN}} \cdot \frac{1}{100} = 1.197 \times 10^3 \text{ €}$$

$$\text{Total_sin_IVA} := \text{Fijo} + \text{Variable} = 1.304 \times 10^3 \text{ €}$$

$$\text{Total_con_IVA} := \text{Total_sin_IVA} \cdot 1.21 = 1.578 \times 10^3 \text{ € (IVA: 21\%)}$$

Ahorro anual de 1578 € al no necesitar comprar gas natural para ACS.

Precio de la instalación de una caldera de Pellets:

Precio instalación caldera: $\text{Cald} := 8800 \text{ €}$

Precio silo almacenamiento pellets: $\text{Alm} := 3300 \text{ €}$

Precio pellets al año:

Palé de pellets (1125 kg): $\text{pale} := 277.7 \text{ €}$ (Fuente: ventadepellets.es)

Necesitamos 4488 kg al año -> 4 palés al año $\text{pellets} := 4 \cdot \text{pale} = 1.111 \times 10^3 \text{ €}$

Por tanto:

$$\text{Inversion_inicial} := \text{Cald} + \text{Alm} = 1.21 \times 10^4 \text{ €}$$

$$\text{Ahorro} := \text{Total_con_IVA} - \text{pellets} = 466.82 \text{ €}$$

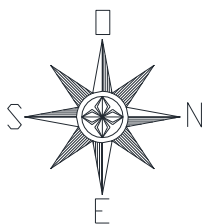
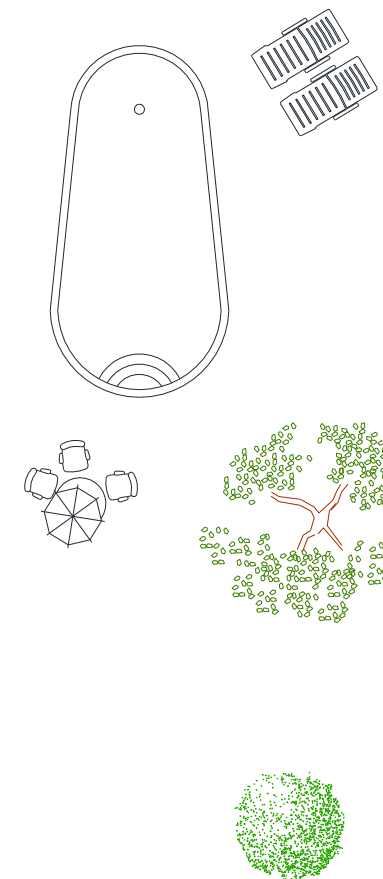
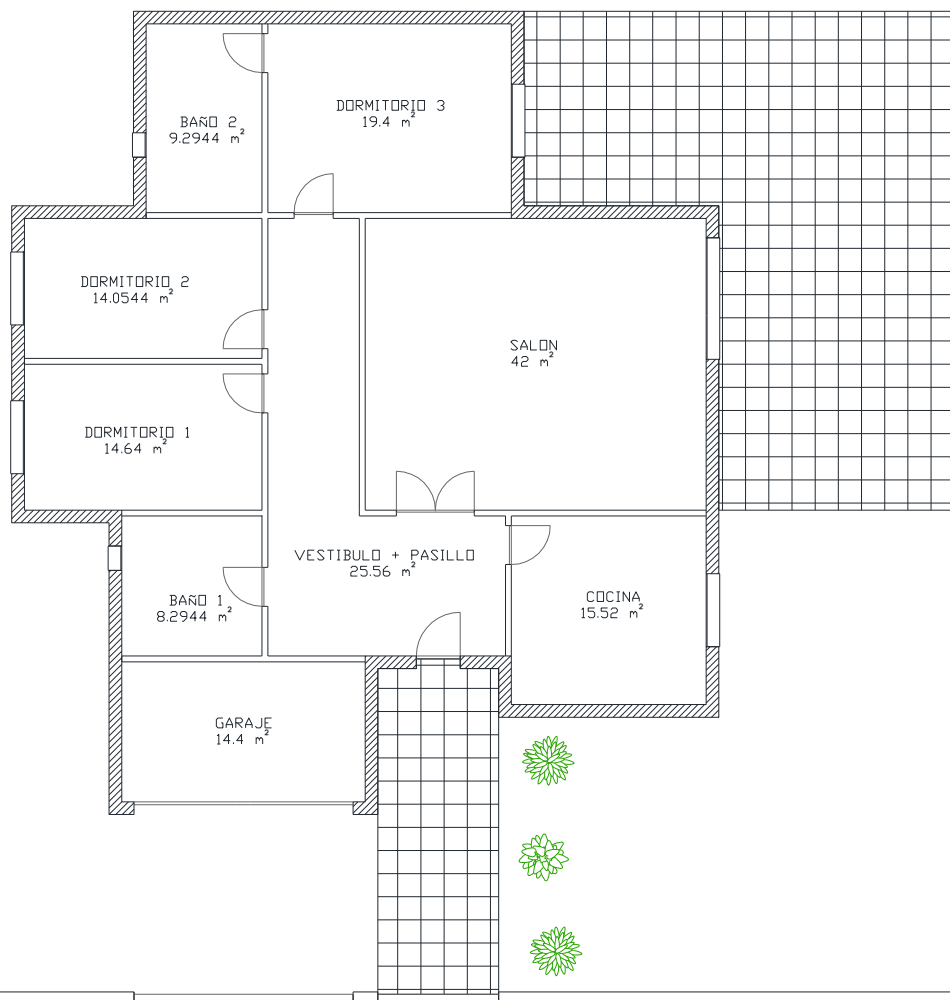
$$I_0 := \text{Inversion_inicial}$$

$$\text{FC} := \text{Ahorro}$$

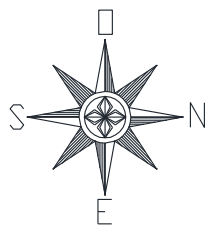
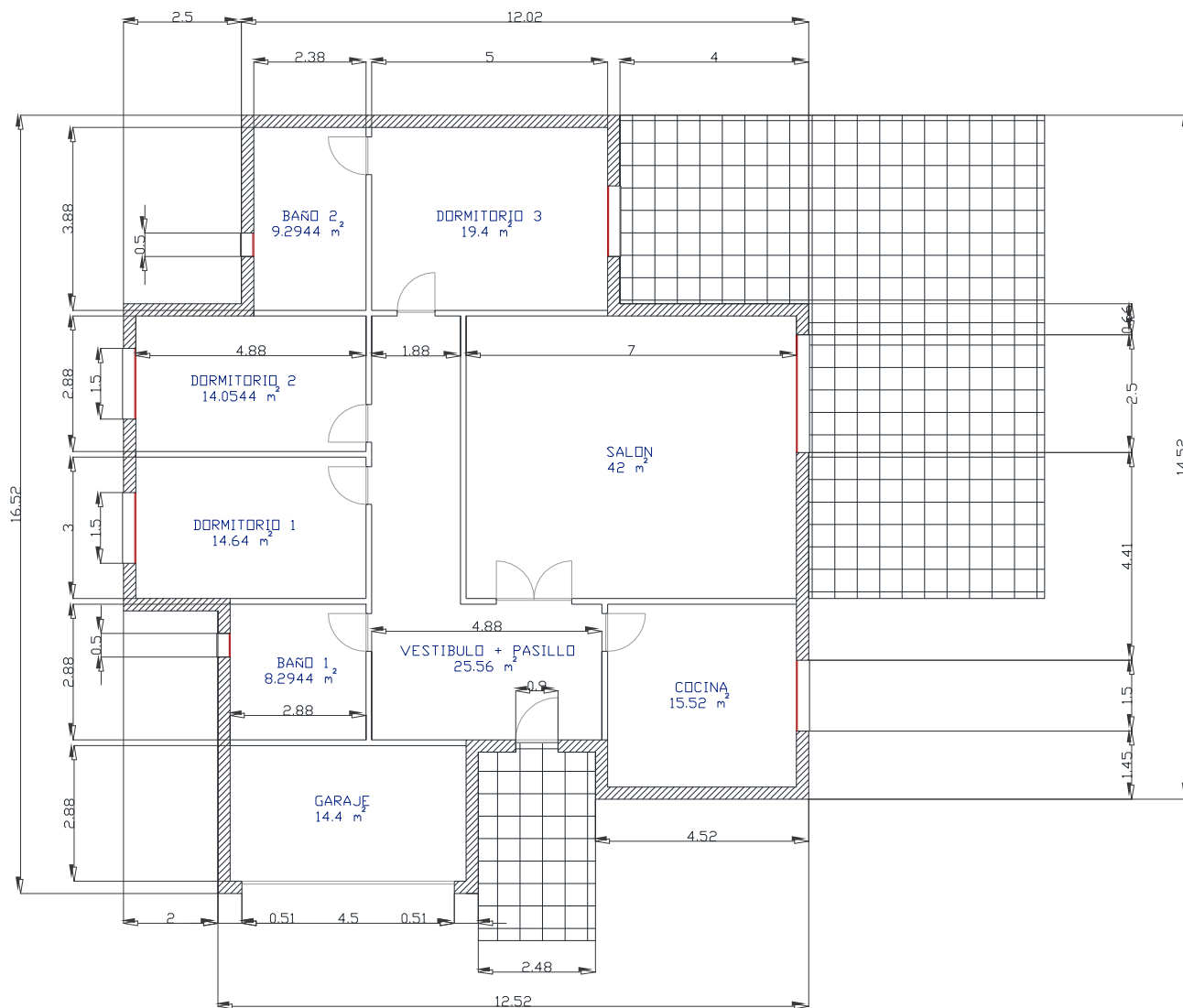
$$i_a := 0.09$$

$$\text{VAN} := \begin{cases} \text{for } j \in 0..25 \\ \text{VAN}_j \leftarrow -I_0 + \left[\sum_{n=0}^j \left[\text{FC} \cdot \frac{1}{(1+i)^n} \right] \right] \\ \text{VAN} \end{cases}$$

3. PLANOS DE LA VIVIENDA.



PROYECTO: SIMULACIÓN DEL CONSUMO DE UNA VIVIENDA Y COBERTURA POR MEDIO DE ENERGÍAS RENOVABLES		
PLANO:	SITUACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA VIVIENDA	FECHA: JULIO 2014
AUTOR:	JOSÉ ANTONIO TORRES LAFUENTE	UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID - ING. INDUSTRIAL



PROYECTO: SIMULACIÓN DEL CONSUMO DE UNA VIVIENDA Y COBERTURA POR MEDIO DE ENERGÍAS RENOVABLES		
PLANO: DIMENSIONES DE LA VIVIENDA	ESCALA: 1/150	FECHA: JULIO 2014
AUTOR: JOSÉ ANTONIO TORRES LAFUENTE		UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID - ING. INDUSTRIAL

